VINOGRADOV conference

Международная конференция памяти выдающегося русского гидролога Ю.Б. Виноградова

ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ

Сборник материалов

28-30 марта 2018

Санкт-Петербургский государственный университет

Санкт-Петербургский государственный университет

Сборник докладов
международной научной конференции
памяти выдающегося русского гидролога
Юрия Борисовича Виноградова

ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ

Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 года

Под редакцией к.т.н. О.М. Макарьевой

Электронное текстовое издание

Санкт-Петербург
«Наукоемкие технологии»
2018

ISBN 978-5-6040965-7-4
© Макарьева О. М., 2018

Saint Petersburg State University

Proceedings
of the international scientific conference
in memory of outstanding Russian hydrologist
Yury Vinogradov

THIRD VINOGRADOV CONFERENCE. FACETS OF HYDROLOGY

Saint Petersburg, March, 28-30 2018

Edited by Olga Makarieva

Saint Petersburg
2018

УДК 556.5
ББК 26.222
С 23

С 23 Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова «Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии» [Электронный ресурс]; Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 года / под ред. О. М. Макарьевой. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2018. – 982 с. URL: http://publishing.intelgr.com/archive/hydrology-facets.pdf.

ISBN 978-5-6040965-7-4

28–31 марта 2018 г. в Санкт-Петербургском государственном университете прошла Третья международная научно-практическая конференция для студентов, аспирантов и молодых ученых «Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии», посвященная памяти выдающегося русского гидролога проф. Ю.Б. Виноградова.

Ю.Б. Виноградов являлся ведущим ученым России в области гидрологии. Он автор более 100 научных работ, в том числе нескольких основополагающих монографий по математическому моделированию гидрологических процессов, катастрофическим гидрологическим явлениям (прорывным паводкам и селевым потокам).

Программа конференции 2018 года состояла из шести научных секций:

1. На грани фазовых переходов, или гидрология холодных, высокогорных регионов и криолитозоны, а также снег, ледовые процессы и явления.

2. Новые грани гидрологии, или об использовании геоинформационных технологий, изотопных методов, данных дистанционного зондирования и других новейших методов исследований в решении задач гидрологии.

3. Многогранная гидрология, или результаты региональных исследований.

4. Грани гидроэкологии и водопользования.

5. За гранью катастроф.

6. На грани науки и практики, или прикладные гидрологические задачи и методы их решения.

УДК 556.5
ББК 26.222

© Макарьева О. М., 2018

ISBN 978-5-6040965-7-4

Международная научная конференция
памяти выдающегося русского гидролога Ю. Б. Виноградова
«ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ»

Организаторы	Кафедра гидрологии суши, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет
	Научная Группа модели Гидрограф
Председатель Программного комитета	д.г.н., профессор В.В. Дмитриев, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет
Председатель Организационного комитета	к.т.н. О.М. Макарьева, Научная группа модели Гидрограф, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет
Спонсоры	ООО «НПО «Гидротехпроект», Санкт-Петербург
	АНО НИЦ «Геодинамика» Южно-Сахалинск
	Российский Фонд Фундаментальных Исследований

International Conference in memory of outstanding
Russian hydrologist Yury Vinogradov
“THIRD VINOGRADOV CONFERENCE. FACETS OF HYDROLOGY”

Organized by
Department of Land Hydrology,
Institute of Earth Sciences
St. Petersburg State University

Hydrograph Model Research Group

Chair of Scientific Committee
Vasiliy Dmitriev,
Institute of Earth Sciences,
St. Petersburg State University

Chair of Organizing Committee
Olga Makarieva,
Hydrograph Model Research Group,
Institute of Earth Sciences,
St. Petersburg State University

Partners
Gidrotehproekt Ltd.
St. Petersburg

ANO RC “Geodinamika”
Yuzhno-Sakhalinsk

Russian Foundation for Basic Research

Научное издание

Сборник докладов
международной научной конференции
памяти выдающегося русского гидролога
Юрия Борисовича Виноградова
ТРЕТЬИ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ.
ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ

Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 года

Электронное текстовое издание

Редакция: к.т.н. О.М. Макарьева
Верстка: к.т.н. О.М. Макарьева
Оформление: Е. Иванова-Ефимова

Сборник разработан с помощью программного
обеспечения Microsoft Office Word, Adobe Acrobat Pro

Подписано к использованию 19.06.2018.
Объем издания – 29,8 Мб.
Гарнитура Pragmatica, Times, Arial, DaVinci

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел Групп»
http://publishing.intelgr.com
E-mail: publishing@intelgr.com
Тел.: (812) 945-50-63

ISBN 978-5-6040965-7-4

29 марта 2018 г.

Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

Предисловие

28–31 марта 2018 г. в Санкт-Петербургском государственном университете прошла Третья международная научно-практическая конференция для студентов, аспирантов и молодых ученых «Третьи Виноградовские Чтения. Грани гидрологии», посвященная памяти выдающегося русского гидролога проф. Ю.Б. Виноградова.

Ю.Б. Виноградов являлся ведущим ученым России в области гидрологии. Он автор более 100 научных работ, в том числе нескольких основополагающих монографий по математическому моделированию гидрологических процессов, катастрофическим гидрологическим явлениям (прорывным паводкам и селевым потокам).

Конференция проводилась в третий раз (2013, 2015) и стала регулярной научной платформой для:

• свободной и острой дискуссии по проблемам развития гидрологии и поискам путей их преодоления;

• синтеза современных подходов в области изучения гидрологических процессов и их применения для решения прикладных задач;

• преодоления разобщенности научных школ и гидрологического сообщества России;

• расширения кругозора и становления молодых ученых-гидрологов, от которых зависит развитие науки и ее эффективное использование на пользу России в будущем;

• обсуждения проблем образования и кадровой подготовки специалистов в области гидрологии.

Программа конференции 2018 года состояла из шести научных секций:

1. На грани фазовых переходов, или гидрология холодных, высокогорных регионов и криолитозоны, а также снег, ледовые процессы и явления.

2. Новые грани гидрологии, или об использовании геоинформационных технологий, изотопных методов, данных дистанционного зондирования и других новейших методов исследований в решении задач гидрологии.

3. Многогранная гидрология, или результаты региональных исследований.

4. Грани гидроэкологии и водопользования.

5. За гранью катастроф.

6. На грани науки и практики, или прикладные гидрологические задачи и методы их решения.

До конференции в течение 4 дней (24-27 марта 2018) молодые ученые, студенты и аспиранты приняли участие в Школе Гидрологического Моделирования, лекторами которой стали ведущие ученые России и мира.

В последний день Конференции был заслушан обобщающий пленарный доклад гл.н.сотр. ИВП РАН (г. Москва) М.В. Болгова «Ю.Б. Виноградов и грозящая катастрофа гидрологического знания: надо ли с чем-то бороться?». Состоялось обсуждение доклада участниками Конференции, дискуссия по итогам работы, подведены итоги Конференции в целом.

В программный комитет конференции вошли специалисты в области гидрологии и водных ресурсов из ведущих научных институтов, университетов и производственных организаций России.

Число зарегистрировавшихся участников, подавших тезисы докладов, 260. Подтвердили участие и участвовали 214 чел. Из них 169 участников – молодые ученые до 35 лет.

Состав участников имел широкую географию, как по России (от Приморского края и Чукотки до Северо-Запада ЕЧР – всего 22 региона), так и по всему миру. В программе конференции приняли участие представители иностранных гидрологических школ из 10 зарубежных стран, таких как Австралия, Азербайджан, Белоруссия, Бразилия, Германия, Иран, Казахстан, Польша, Украина и Швейцария. Всего во время конференции были сделаны 161 устных докладов (из них 5 пленарных и 1 дискуссионный) и 53 стендовых доклада.

Конференция проведена на базе Санкт-Петербургского государственного университета, при организационной помощи преподавателей и студентов кафедры гидрологии суши, спонсорской помощи РФФИ, научно-производственных объединений ООО «НПО «Гидротехпроект» (Санкт-Петербург), АНО НИЦ «Геодинамика» (Южно-Сахалинск) и научной группы модели Гидрограф.

Спонсорская помощь позволила отменить регистрационный взнос для достижения большей доступности участия молодых ученых. По итогам Конференции отмечены лучшие доклады и выступления.

Количество участников указало на острую востребованность проведения мероприятия и заинтересованность молодежи в научной и научно-практической деятельности в данной сфере науки. Несомненно, такой интерес должен поддерживаться и развиваться в отечественной гидрологической науке, в том числе при поддержке РФФИ и ведущих университетов РФ.

Председатель Программного комитета,

д.г.н., проф., академик РАЕН В.В. Дмитриев

Приветствие

Во вступительных словах к участникам 3-х Виноградовских чтений хотелось, чтобы они прозвучали в духе Юрия Борисовича. Известны два основных способа написания книг и статей. «Один способ – это писать от первого лица, а второй – с позиции всеведения» (У. Моэм, Искусство слова). Обычно предпочитают второй вариант, который, будучи объединенным со способом изложения истин, о которых уже многократно написано, вселяет дополнительную уверенность, ощущаемую только в том случае, когда вы примыкаете к абсолютному большинству. К тому же при этом автор приобретает уникальную возможность – одобрительно высказаться, как бы со стороны, о собственных работах. Первый способ, более прямой и честный, но требующий и иного уровня ответственности. Другая причина состоит в том, что именно этот вариант становится единственным, когда всякий инакомыслящий вызывается на поединок.

Сначала – это идея, подходы, методы, рассуждения, взгляды в прошлое и будущее. Затем – это авторское изложение сведений о гидрологическом мире. И, наконец, - это описание конкретных реализаций, которые могут послужить возможными примерами создания некоторого единства концепций, методов и решений, другими словами, всего того, что мы могли бы, с большим или меньшим основанием, назвать «гидрологией нового поколения».

Обращаемся к вам, гидрологи. Уходящим на покой или, наоборот, нащупывающим возможные пути вхождения в гидрологию. Считающих себя учеными или гордящихся своим положением прикладников. Формалистов и ретроградов, оптимистов и фантазеров. Хорошо бы если все, что здесь написано, вдохновило, одних, на решение подлинно насущных задач и проблем гидрологии, других подвигло на споры и возражения, которые возможно смогут принести последней немалую пользу. **Ибо великая битва идей – это мечта неравнодушных гидрологов.**

Юрий Борисович когда-то написал обращение к молодым гидрологам, которое не было напечатано: «Обращаюсь к вам, молодые люди, пришедшие в гидрологию. Это очень интересная и достойная наука, приносящая обществу и государству великую пользу. Как утвердить интерес к гидрологии у ее молодых энтузиастов и этим заложить основы будущего нашей науки? Как молодых гидрологов сделать не скучными людьми, лишь вяло интересующимися возможностями гидрологии, а подлинными профессионалами своего дела?

Самое лучшее решение проблемы – образование, особенно на магистерском и аспирантском уровнях, это установление личной связи ученика и наставника, когда первый участвует в конкретной научной работе, обсуждении идей и погружается в размышления о путях решения гидрологических проблем. Это уже то, чему нельзя научиться, отсидев лекции и испытав дискомфорт на экзаменах.

Выбор наставника и руководителя в науке – дело сугубо личное, но молодые люди часто руководствуются при этом не всегда достойными мотивами или, же предоставляют решение течению обстоятельств. В то же время – это проблема не простая, требующая благоразумия и осторожности. И, безусловно, перед выбором следует тщательно ознакомиться как положением дел в гидрологии вообще, так и с научными работами своего потенциального руководителя и его возможных, в ваших глазах, «соперников».

Итак, научитесь различать ученых настоящих и мнимых».

Закончить наше вступление можно словами немецкого писателя, математика, физика и астронома 18-го века Георга Кристофа Лихтенберга: «Читать означает брать в долг, а сделать на основе этого открытия – значит уплатить долг». Возможно, прочитав какие-то изложенные здесь исследования, вы продвинетесь к «уплате долга», на развитие вперед нашей науки – гидрологии. Доброго вам пути!

к.г.н., доц. Т.А. Виноградова

Благодарность

Мы благодарим всех неравнодушных людей за помощь в организации и проведении Третьих Виноградовских Чтений.

Алексею Юрьевичу Виноградову (ООО «НПО «Гидротехпроект», Санкт-Петербург), Николаю Александровичу Казакову (АНО НИЦ «Геодинамика», Южно-Сахалинск), Максиму Николаевичу Кручину (ООО «ГЭТРИ», Москва) выражаем глубокую признательность за оказание спонсорской помощи. Российский Фонд Фундаментальных Исследований благодарим за поддержку (проект 18-35-10004).

Конференция не состоялась бы без помощи сотрудников и студентов кафедры гидрологии суши Санкт-Петербургского государственного университета под руководством Галины Валентиновны Пряхиной. Особо нужно отметить вклад студентов Натальи Вадимовны Нестеровой, Дарии Павловны Соколовой, Виктории Антоновны Куровской, Марии Руслановны Кузнецовой, Анастасии Андреевны Пашовкиной, Андрея Алексеевича Осташова.

Благодарим Татьяну Владимировну Паршину и Ольгу Никитичну Боброву – за организацию питаниячастников конференции.

Алина Боронина стала фотографом конференции.

Благодарим Людмилу Сергеевну Лебедеву (Институт мерзлотоведения СО РАН) за организацию творческих мероприятий и экскурсий, помощь в подготовке набора участника.

Благодарим директора Государственного Гидрологического института Вадима Александровича Кузьмина и его заместителя Журавлева Сергея Александровича за помощь в организации Школы моделирования.

Благодарим Андрея Николаевича Шихова (Пермский государственный университет) за прекрасный календарь, ставший украшением набора участников.

Ирину Александровну Фишер благодарим за разработку и пошив фирменных головных уборов для участников Третьих Виноградовских Чтений.

Всех участников конференции, от ведущих ученых до студентов, благодарим за активное участие не только в научной программе конференции, но и творческих мероприятиях.

Спасибо!

О.М. Макарьева, председатель Оргкомитета конференции

СОДЕРЖАНИЕ/CONTENTS

МНОГОГРАННЫЙ ЮРИЙ БОРИСОВИЧ ВИНОГРАДОВ

Виноградова Т.А., Виноградов А.Ю. 1

MANY-SIDED YURI BORISOVICH VINOGRADOV

Vinogradova T. A., Vinogradov A. Yu. 7

ЮРИЙ БОРИСОВИЧ И ГРОЗЯЩАЯ КАТАСТРОФА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ: НАДО ЛИ С ЧЕМ-НИБУДЬ БОРОТЬСЯ?

Болгов М.В. 8

YURY VINOGRADOV AND THE IMPENDING CATASTROPHE OF HYDROLOGICAL KNOWLEDGE: SHOULD WE FIGHT SOMETHING?

Bolgov M.B. 8

СЕКЦИЯ 1 НА ГРАНИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

SESSION 1 SNOW AND PERMAFROST HYDROLOGY 9

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ УСТЬЕВ НА АРХИПЕЛАГАХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Айбулатов Д.Н., Школьный Д.И., Максаков Н.А. 10

STUDIES OF THE FEATURES OF THE RIVER MOUTHS ON THE ARCHIPELAGOES OF THE RUSSIAN ARCTIC

Aibulatov D.N., Shkolniy D.I., Maksakov N.A. 15

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА НАНОСОВ ВЫСОКОГОРНОГО ЛЕДНИКОВОГО БАССЕЙНА (НА ПРИМЕРЕ ГОРНО-ЛЕДНИКОВОГО БАССЕЙНА ДЖАНКУАТ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ)

Базилова В.О., Чалов С.Р., Цыпленков А.С. 16

DRIVERS OF SEDIMENTARY FLUXES ASSESSMENT IN ALPINE CATCHMENTS (CASE STUDY DJANKUAT CATCHMENT, CENTRAL CAUCUSES)

Bazilova V.O., Chalov S.R., Tsyplenkov A.S. 19

ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА РЕК ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЫ ТЯНЬ-ШАНЯ

Белозёров Е.В., Рец Е.П., Петраков Д.А., Киреева М.Б. 20

CHANGE IN RIVERS FLOW OF IN HIGH-MOUNTAIN ZONE OF THE TIEN-SHAN

Belozerov E.V., Rets E.P., Kireeva M.B., Petrakov D.A. 24

СОВРЕМЕННЫЙ И БУДУЩИЙ ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Василенко А.Н. 25

MODERN AND FUTURE ICE REGIME OF RIVERS OF THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA

VASILENKO A.N. 29

СНИЖЕНИЕ ДОЛИ НАЛЕДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СТОКЕ РЕК ЗАБАЙКАЛЬЯ

ВЕРХОТУРОВ А.Г. 30

REDUCTION OF THE SHARE OF REGULATION IN SURFACE OF THE RIVER TRASBAIKALA

VERKHOTUROV A.G. 34

ОЦЕНКА ВЕСЕННЕЙ ЗАТОРООПАСНОСТИ НА РЕКАХ СЕВЕРА РОССИИ ПО ДАННЫМ О ТЕРМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ЗИМНЕГО СЕЗОНА И ОСОБЕННОСТЯХ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ

ГОЛУБЕВ В.Н., ФРОЛОВ Д.М. 35

ESTIMATION OF SPRING ICE BLOCKAGE DANGER ON THE RIVERS OF NORTH OF RUSSIA ON THE DATA ON THERMAL REGIME OF WINTER SEASON AND PECULIARITIES OF SNOW ACCUMULATION

GOLUBEV V.N., FROLOV D.M. 38

МЕХАНИЗМ ОТТАИВАНИЯ И ОБРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ МЕАНДРИРУЮЩЕЙ РЕКИ В КРИОЛИТОЗОНЕ

ДОЛГОПОЛОВА Е.Н., ГРИЦУК И.И., МАСЛИКОВА О.Я., ЗАМЯТИНА Э.В. 39

MECHANISM OF THAW AND SLUMPING OF THE BANKS OF MEANDERING RIVER IN CRYOSPHERE

DOLGOPOLOVA E. N., GRITSUK I.I., MASLIKOVA O.YA., ZAMYATINA E.V. 42

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ ПОДРУСЛОВЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРА

КАЙМОНОВ М. В., КИСЕЛЕВ В. В., ХОХОЛОВ Ю. А. 43

ECOLOGICALLY SAFE TECHNOLOGY FOR MINING ALLUVIAL PLACER DEPOSITS OF THE NORTH

KAIMONOV M. V., KISELEV V. V., KHOKHOLOV Y. A. 47

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА РЕК

КОЛИЙ В.М., АГАФОНОВА С.А. 48

THE POSSIBILITIES OF USING SATELLITE DATA FOR THE STUDY OF THE ICE COVER OF RIVERS

KOLIY V.M., AGAFONOVA S.A. 52

TWO-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC MODELING OF THE LENA RIVER FLOODPLAIN INUNDATION NEAR THE CITY OF YAKUTSK

KORNILOVA E.D., KRYLENKO I.N., BELIKOV V.V., GOLOVLYOV P.P. 53

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ЛЕНЫ

Крылова А.И., Антипова Е.А. 57

NUMERICAL SIMULATION OF THE RIVER DISCHARGE IN THE LENA RIVER DELTA

Krylova A.I., Antipova E.A. 61

ТАЛИКИ И ФОРМИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА НА МАЛОМ ВОДОСБОРЕ В СПЛОШНОЙ КРИОЛИТОЗОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Лебедева Л.С., Ефремов В.С., Христофоров И.И., Бажин К.И., Огонеров В.В., Павлова Н.А. 62

TALIKS AND RIVER RUNOFF FORMATION AT THE SMALL RESEARCH WATERSHED IN CONTINUOUS PERMAFROST OF CENTRAL YAKUTIA

Lebedeva L.S., Efremov V.S., Khristoforov I.I., Bazhin K.I., Ogonerov V.V., Pavlova N.A. 66

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТОКА МАЛЫХ, СРЕДНИХ И КРУПНЫХ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Лебедева Л.С., Макарьева О.М. 67

SPATIAL VARIABILITY OF STREAMFLOW AT SMALL, MEDIUM AND LARGE RIVERS IN CENTRAL YAKUTIA

Lebedeva L.S., Makarieva O.M. 72

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В КРИОЛИТОЗОНЕ РОССИИ КАК ВОЗМОЖНОСТЬ ИССЛЕДОВАТЬ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА НА РАЗЛИЧНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МАСШТАБАХ

Лебедева Л.С., Макарьева О.М., Нестерова Н.В. 73

HYDROLOGICAL MODELLING IN RUSSIAN PERMAFROST AS A TOOL TO INVESTIGATE RUNOFF FORMATION MECHANISMS AT DIFFERENT SPATIAL SCALES

Lebedeva L.S., Makarieva O.M., Nesterova N.V. 79

РАСТВОРЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ТИПИЧНОГО РЕЧНОГО БАССЕЙНА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Луценко Т.Н., Шамов В.В., Ксенофонтова М.И., Лебедева Л.С. 80

DISSOLVED ORGANIC MATTER OF NATURAL WATERS OF THE TYPICAL RIVER BASIN OF THE CENTRAL YAKUTIA

Lutsenko T.N., Shamov V.V., Ksenofontova M.I., Lebedeva L.S. 85

ИОННЫЙ СТОК АРКТИЧЕСКОЙ РЕКИ АЛАЗЕЯ

Макаров В.Н. 86

ION RUNOFF OF THE ARCTIC RIVER ALAZEYA

Makarov V.N. 91

О ХАОСЕ И ПОРЯДКЕ В КРИОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЯХ И ПРОЦЕССАХ, ФОРМИРУЮЩИХ РЕЧНОЙ СТОК

Марков М. Л. 92

ABOUT CHAOS AND ORDER IN CRYOGENIC PHENOMENA AND PROCESSES FORMING THE RIVER RUNOFF

Markov M.L. 97

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Масликова О.Я., Долгополова Е.Н., Грицук И.И., Ионов Д.Н. 98

LABORATORY MODELING OF DESTRUCTIVE SLOPE PROCESSES OCCURRING IN THE PERMAFROST ZONE

Maslikova O. Ya., Dolgopolova E.N., Gritsuk I. I., Ionov D.N. 102

СТОК РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ЕГО МНОГОЛЕТНЯЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Мироненко А.А., Фролова Н.Л. 103

LONG-TERM AND SEASONAL VARIABILITY OF RUSSIAN ARCTIC`S EUROPEAN TERRITORY RIVERS RUNOFF

Mironenko A.A. , Frolova N.L. 106

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА НАЛЕДЕЙ И ОЦЕНКА ИХ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Нестерова Н.В., Макарьева О.М. , Шихов А. Н., Осташов А.А. 107

MATHEMATICAL MODELLING OF AUFEIS FLOW AND ASSESSMENT OF THEIR ROLE IN FORMATION OF HYDROLOGICAL REGIME OF NORTH-EAST RUSSIA

Nesterova N., Makarieva O., Shikhov A., Ostashov A. 111

ВОДНЫЙ БАЛАНС КРИОЛИТОЗОНЫ: КОМПЕНСИРУЮЩАЯ РОЛЬ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ АНАДЫРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ)

Нутевекет М.А., Трегубов О.Д., Уяганский К.К. 112

THE WATER BALANCE OF THE PERMAFROST ZONE: THE COMPENSATING ROLE OF SEASONAL THAWING (ON THE EXAMPLE OF THE ANADYR LOWLAND)

Nuteveket M.A., Tregubov O.D., Uyganskiy K.K. 117

ИНФИЛЬТРАЦИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННОГО РАСТВОРА В МЕРЗЛЫЙ МАССИВ

Попов В.И. 118

MODELING OF THE PROCESS OF INFILTRATION OF HIGH-MINERALIZED SOLUTION IN FROZEN MOUNTAIN ROCKS

Popov V.I. 121

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТАЯНИЯ СНЕГА И ЛЬДА AMELT ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ БАЛАНСА МАССЫ ЛЕДНИКОВ ВНУТРЕННЕГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Рец Е.П., Петраков Д.А., Шпунтова А.М. 122

USING ENERGY-BALANCE SNOW AND ICE MELTING MODEL AMELT TO RECONSTRUCT MASS BALANCE FOR INNER TIAN-SHAN GLACIERS

Rets E.P., Petrakov D.A., Shpuntova A.M. 126

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СТОКА РЕК ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Романов С.Г., Марков М.Л., Потапова Т.М. 127

TO THE QUESTION OF HYDROCHEMICAL FLOW FORMATION OF RIVERS IN THE POLAR REGIONS OF RUSSIA

Romanov S.G., Markov M.L., Potapova T.M. 131

ЧЕТКОВИДНЫЕ РУСЛА РЕК – «ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ» КРИОЛИТОЗОНЫ

Тарбеева А.М. , Арп К.Д., Ефремов В.С., Крыленко И.В., Лебедева Л.С. 132

BEADED RIVER CHANNELS AS “HOT POINTS” OF PERMAFROST

Tarbeeva A.M., Arp C.D., Efremov V.S., Krylenko I.V., Lebedeva L.S. 138

AUTOMATED GLACIER MAPPING WITH SENTINEL DATA FOR REGIONS WITH WIDESPREAD DEBRIS COVER

Telegina A.A. 139

КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВОДНОГО ЭКВИВАЛЕНТА НА ОСНОВЕ ОПЕРАТИВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Чурюлин Е.В., Копейкин В.В., Фролова Н.Л., Розинкина И.А. 144

MONITORING OF RECOVERED VALUES OF SNOW WATER EQUIVALENT BASED ON OPERATIONAL IN-SITU DATA

Churiulin E.V., Kopeykin V.V., Frolova N.L., Rozinkina I.A. 149

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ОБЩЕДОСТУПНЫХ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ НА КРУПНОМ ВОДОСБОРЕ

Шихов А.Н., Быков А.В., Тарасов А.В. 150

VALIDATION OF THE FREE-AVAILABLE GLOBAL ATMOSPHERIC MODELS DATA FOR SNOW ACCUMULATION MODELING ON A LARGE-SCALE BASIN

Shikhov A.N., Bykov A.V., Tarasov A.V. 155

НАЛЕДИ В БАССЕЙНЕ Р. ИНДИГИРКИ – ИСТОРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Шихов А. Н., Макарьева О.М. , Осташов А.А., Нестерова Н.В. 156

AUFEIS AT THE INDIGIRKA RIVER BASIN – HISTORICAL DATA AND CURRENT STATE

Shikhov A., Makarieva O., Ostashov A., Nesterova N. 161

СЕКЦИЯ 2 НОВЫЕ ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ

SESSION 2 INNOVATIVE RESEARCH METHODS IN HYDROLOGY 162

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ЗОНЕ АКТИВНОГО ВОДООБМЕНА ПОЧВОГРУНТОВ

Абрамов Д.В., Никифоровский А.А. 163

QUESTIONS OF THE SUBSURFACE WATER MOVEMENT

Abramov D.V.,Nikiforovsky A.A. 167

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ВОДНОГО ПОТОКА ПРИЛИВНОГО УСТЬЯ МАЛОЙ РЕКИ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ТАМИЦЫ (БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ)

Алексеева А.А. 168

HYDRODYNAMICS OF SMALL TIDAL ESTUARY, THE CASE STUDY OF THE TAMITSA RIVER (WHITE SEA BASIN)

Alekseeva A.A. 173

ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА МАЛЫХ РЕК ГОРОДА ХАБАРОВСКА

Афанасьева М. И., Неудачин А.П., Шестеркин В.П. 174

PROBLEMS OF MONITORING HEADWATERS IN THE CITY OF KHABAROVSK

Afanaseva M.I., Neudachin A.P., Shesterkin V.P. 177

ПАРАДОКС ПРАВОЙ ИЗЛУЧИНЫ

Виноградов А.Ю., Виноградова Т.А., Виноградов И.А. 178

THE PARADOX OF THE RIGHT BEND

Vinogradov A. Yu., Vinogradova T. A., I. A. Vinogradov 181

ОПЫТ СОЗДАНИЯ АРХИВА РЕЖИМНОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ CUAHSI ODM

Гончуков Л.В., Макарьева О.М. 182

IMPLEMENTATION OF HYDROMETEOROLOGICAL ARCHIVE DATASET BASED ON CUAHSI ODM TECHNOLOGY

Gonchukov L. V., Makarieva O. M. 185

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Завьялова Е.В., Крыленко И.Н., Сазонов А.А. 186

ASSESSMENT OF GENETIC COMPONENTS OF WATER LEVELS BASED ON MATHEMATICAL MODELING METHODS

Zavyalova E.V., Krylenko I.N., Sazonov A.A. 189

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ КСЕНОБИОТИКОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ КАЧЕСТВА ВОД

Козлова М.А. 190

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ORGANIC XENOBIOTICS TOXICITY ASSESSMENT IN MONITORING OF WATER QUALITY

Kozlova M.A. 194

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА В ТАТАРСТАНЕ (НА ПРИМЕРЕ ДВУХ ВОДОСБОРОВ)

Костерина Е.А., Горбунова Ю.В. 195

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF CLIMATE AND LANDSCAPE CONDITIONS ON THE PROCESSES OF RUNOFF FORMATION IN TATARSTAN (BY THE EXAMPLE OF TWO WATERSHEDS)

Kosterina E.A., Gorbunova Yu.V. 198

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ И НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ОБЛАСТИ ВОДНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Костко В.В., Марков М.Л. 199

ACTUAL PROBLEMS OF PRACTICAL APPLICATION OF CERTAIN PROVISIONS OF LEGISLATIVE AND REGULATORY ACTS OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE FIELD OF WATER RELATIONS

Kostko V.V., Markov M.L. 203

ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА КРУПНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Лаптев А.С., Журавлёв С.А., Георгиевский М.В. 204

ESTIMATION OF WATER BALANCE ELEMENTS OF LARGE RIVER BASINS BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA

Laptev A.S., Zhuravlev S.A., Georgievsky M.V. 208

СПОСОБ РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛЬНОГО СЛОЯ ОСАДКОВ НАД АКВАТОРИЕЙ АЗОВСКОГО МОРЯ

Мишин Д.В., Евстигнеев В.П., Остроумова Л.П. 209

CALCULATION METHOD OF INTEGRATED PRECIPITATION AMOUNT ON THE AZOV SEA

Mishin D.V., Evstigneev V.P., Ostroumova L.P. 214

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЕЙ ВОДЫ НЕВЫ И НЕВСКОЙ ГУБЫ

Палконен А.А., Саноцкая Н.А. 215

SPECTRAL ANALYSIS OF WATER LEVEL FLUCTUATIONS IN THE NEVA AND THE NEVA BAY

PALKONEN A.A. , SANOTSKAYA N.A. 217

ОСОБЕННОСТИ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИЛИВОВ НА ПРИМЕРЕ МАЛОЙ РЕКИ КЯНДЫ (БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ)

ПАНЧЕНКО Е.Д. 218

SPECIFIC FEATURES OF UNSTEADY FLOW IN TIDAL ESTUARY OF SMALL RIVER KYANDA (THE WHITE SEA BASIN) .....

PANCHENKO E.D. 222

АДАПТАЦИЯ ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ GLM ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА МАЛОГО СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ОЗЕРА

ТЕРЕШИНА М.А., ЕРИНА О.Н. 223

USING ONE-DIMENSIONAL GENERAL LAKE MODEL (GLM) TO SIMULATE THERMODYNAMICS OF A SMALL STRATIFIED LAKE

TERESHINA M.A., ERINA O.N.. 227

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ SWAT ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА МАЛОГО РЕЧНОГО БАССЕЙНА НА ПРИМЕРЕ РЕКИ КОМАРОВКА (ЮГ ПРИМОРСКОГО КРАЯ)

ТЕРЕШКИНА А.А., БУГАЕЦ А.Н., ГАРЦМАН Б.И., ГОНЧУКОВ Л.В., БУГАЕЦ Н.Д., СИДОРЕНКО Н.Ю., ПШЕНИЧНИКОВА Н.Ф., КРАСНОПЕЕВ С.М. 228

APPLICATION OF SWAT MODEL TO STUDY HYDROLOGICAL REGIME OF SMALL CATCHMENT

TERESHKINA A.A., BUGAETS A.N., GARTSMAN B.I., GONCHUKOV L.V., BUGAETS N.D., SIDORENKO N.YU., PSHENICHNIKOVA N.F., KRASNOPEEV S.M. 233

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ SWAT

ТЕРСКИЙ П.Н., КУЛЕШОВ А.А. 234

FLOW GENERATION MODELING FOR ZAPADNAYA DVINA RIVER (RUSSIAN PART) USING SWAT

TERSKII P.N., KULESHOV A.A. 239

РЕАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В МИРЕ И РОССИИ

ТУТЫНИНА Т.И. 240

IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY IN THE WORLD AND RUSSIA

TUTYNINA T.I. 245

О КЛАССИФИКАЦИИ И РАЙОНИРОВАНИИ РЕК ПО ВОДНОМУ РЕЖИМУ

ФРОЛОВА Н.Л., КИРЕЕВА М.Б., ПОВАЛИШНИКОВА Е.С., ПАНЫШЕВА К.М. 246

ABOUT THE CLASSIFICATION AND REGIONALIZATION OF RIVERS WATER REGIME

FROLOVA N.L., KIREEVA M.B., POVALISHNIKOVA E.S., PANYSHEVA K.M. 251

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ Р. ЛЕНА СО СВАЙНОЙ ОПОРОЙ ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ

ХРИСТОФОРОВ И.И., ДАНИЛОВ К.П., ОМЕЛЬЯНЕНКО П.А., ТАНАНАЕВ Н.И. 252

INVESTIGATION OF BOTTOM SEDIMENTS MIGRATION IN THE INTERACTION OF THE LENA RIVER CHANNEL PROCESSES WITH THE PILE SUPPORT OF THE ENGINEERING STRUCTURE BY GROUND PENETRATING RADAR

KHRISTOFOROV I.I., DANILOV K.P., OMELYANENKO P.A., TANANAEV N.I. 257

СОДЕРЖАНИЕ ИЗОТОПОВ 2H И 18O В ВОДАХ ГОРНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ПРИМОРЬЯ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ

ШАМОВ В.В., ТОКАРЕВ И.В., МИХАЙЛИК Т.А., КОЗАЧЕК А.В. 258

DATA ON 2H AND 18O IN WATER SAMPLE FROM MOUNTAIN CATCHMENTS IN PRIMORYE AREA, PACIFIC RUSSIA

SHAMOV V.V., TOKAREV I.V., MIKHAILIK T.A., KOZACHEK A.V. 262

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РЕЧНОГО БАССЕЙНА НА ОСНОВЕ СРЕДСТВ ГИС

ШЕКМАН Е.А., ГАРЦМАН Б.И. 263

MODELING OF RIVER BASIN STRUCTURE BASED ON GIS

SHEKMAN E.A., GARTSMAN B.I. 267

COUPLED HYDROMETEOROLOGICAL MODELING OF RAIN-ON-SNOW FLOOD EVENTS IN THE NORTHERN URAL REGION USING THE WRF AND HYDROGRAPH MODELS

SHIKHOV A., MAKARIEVA O., NESTEROVA N., OSTASHOV A., SVIYAZOV E. 268

HOURLY RUNOFF PREDICTIONS USING HYDROLOGIC MODEL AND RECURRENT NEURAL NET

AYZEL G.V. 275

RUNOFF SIMULATION IN AN ARID CATCHMENT BY KINEROS2 HYDROLOGICAL MODEL THROUGH PARAMETER ALLOCATION APPROACH

GHONCHEPOUR D. , BAHREMAND A. 277

EVALUATION OF THE KINEROS2 HYDROLOGICAL MODEL EFFICIENCY TO SIMULATE RUNOFF IN A SEMI-ARID WATERSHED

GHONCHEPOUR D., KAYHANPANAH M. 283

ASSESSMENT OF CHANGES IN RIVER RUNOFF FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED RIVERS IN THE RUSSIAN PART OF THE BALTIC SEA BASIN UNDER NON-STATIONARY CLIMATIC CONDITIONS

TIMCHENKO D., VUGLINSKY V. 288

LARGE-SCALE RUNOFF SIGNATURES PREDICTIONS USING REGRESSIONS AND HYDROLOGICAL MODELLING

ZHANG Y., CHIEW FRANCIS H.S, LI M. 291

СЕКЦИЯ 3 ГРАНИ ГИДРОЭКОЛОГИИ И ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

SESSION 3 ECOHYDROLOGY AND WATER USE 292

ДЕФОРМАЦИИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ И ОСТРОВОВ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ ПЕРЕМЕННОГО ПОДПОРА (НА УЧАСТКЕ П. КЕРЧЕВСКИЙ – П. ТЮЛЬКИНО) В МНОГОЛЕТНЕМ АСПЕКТЕ

АЛЕКСЕЕВ А.С., ШАЙДУЛИНА А.А. 293

DEFORMATION OF THE SHORE LINE AND ISLANDS OF THE KAMA RESERVOIR IN THE AREA OF VARIABLE BACKWATER (AT THE KERCHEVSKY-TULKINO SITE) IN A MULTI-YEAR ASPECT

ALEKSEEV A.S., SHAIDULINA A.A. 296

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАССЕЙНА РЕКИ НУРА ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

БАЙКЕНОВА Г.Г., ИСАЕВ Д.И., БЕНЦ Т.В. 297

ANALYSIS OF QUALITY OF SURFACE WATERS OF THE NURA BASIN ON HYDROCHEMICAL INDICATORS

BAIKENOVA G.G., ISAEV D.I., BENZ T.V. 300

АНАЛИЗ ПРОБ ПОЧВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАССЕЙНА РЕКИ НУРЫ

БЕНЦ Т.В., ЕСКУЛ Б. 301

ANALYSIS OF SAMPLES OF SOILS AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE NURA RIVER BASIN

BENZ T.V., ESKUL B. 303

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ЗОНАХ СИБИРИ

БУРЕНИНА Т.А., ОНУЧИН А.А. 304

THE HYDROLOGICAL CONSEQUENCES OF LOGGING IN VARIOUS LANDSCAPE ZONES OF SIBERIA

BURENINA T.A., ONUCHIN A.A. 309

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

ВЕНИЦИАНОВ Е.В., АДЖИЕНКО Г.В., ЛЕПИХИН А.П. 310

RISK-BASED APPROACH IN ENVIRONMENTAL REGULATION SYSTEMS

VENITSIANOV E. V., AGEENKO G. V., LEPIKHIN A. P. 314

ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА РЕК ОКИ И ВОЛГИ В ЗОНЕ ИХ СМЕШЕНИЯ

Вилимович Е.А., Терешина М.А., Ерина О.Н., Колий В.М., Соколов Д.И. 315

TROPHIC STATE OF OKA AND VOLGA RIVERS AT THE CONFLUENCE

Vilimovich E.A., Tereshina M.A., Erina O., Kolii V.M., Sokolov D.I. 319

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ БОЛОТНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТНОГО МАССИВА ЛАММИН-СУО

Волкова Д.Д., Потапова Т.М..... 320

RAISED BOGS HYDROCHEMICAL BACKGROUND ON THE EXAMPLE OF THE LAMMIN-SUO MIRE

Volkova D.D., Potapova T.M. 324

ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Вьюхина А.С., Ешмагамбетова А.Б. 325

BASES OF RATIONAL USE OF WATER RESOURCES FOR INCREASE OF LEVEL OF ENVIRONMENTAL CULTURE

Vyukhina A.S., Eshmagambetova A.B. 327

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ВОДОХРАНИЛИЩ КАМСКОГО КАСКАДА

Вюшкова Е.А. 328

ABOUT THE FEATURES OF THE LEVEL REGIME OF THE KAMA RESERVOIRS CASCADE

Vyuschkova E.A. 332

МАСШТАБЫ ВНУТРИСУТОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В МОЖАЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Гречушникова М.Г., Гончаров А.В. 333

PECULIARITIES OF PRIMARY PRODUCTION AND DESTRUCTION PROCESSES IN THE MOZAJSK RESERVOIR

Grechushnikova M.G., Goncharov A.V. 337

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ СБРОСА ТЕПЛЫХ ВОД ОБЪЕКТАМИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В.,Чекмарёва Е.А. 338

THE CHANGING OF THE HYDROECOLOGICAL CONDITION OF COOLER-PONDS UNDERTHE INFLUENCE OF DISCHARGE WARM WATER FROM HEATER OBJECTS OF TVER REGION

Grigorieva I.L., Komissarov A.B., Kuzovlev V.V., Chekmariova E.A. 342

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ МАЛОГО ИСКУССТВЕННОГО ВОДОЕМА ВОРОНЕЖСКОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАРКА Г. ВОРОНЕЖ

Давыдова Н.С., Серикова В.И. 343

RECOMMENDATIONS FOR THE RESTORATION OF THE NATURAL AQUATIC ECOSYSTEM OF THE SMALL ARTIFICIAL RESERVOIR OF THE VORONEZH CENTRAL PARK

Davydova N. S., Serikova V. I. 346

ОЦЕНКА ЭМЕРДЖЕНТНЫХ СВОЙСТВ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ: ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ

Дмитриев В.В., Пряхина Г.В., Огурцов А.Н., Примак Е.А., Амаро Медина Д.Р. 347

ESTIMATION OF EMERGENT PROPERTIES OF WATER BODIES: TROPHIC STATUS, SUSTAINABILITY, ECOLOGICAL WELL-BEING

Dmitriev V.V., Pryakhina G.V., Ogurtsov A.N., Primak E.A., Amaro Medina D.R. ... 354

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПЕРЕЧНЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Ерина О.Н., Ефимова Л.Е., Заславская М.Б. 355

SENSITIVITY ANALYSIS OF WATER QUALITY INDICES TO THE NUMBER OF PARAMETERS

Erina O., Efimova L.E., Zaslavskaya M.B. 359

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВА ВОД В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ефимов В.А. 360

THE STUDY OF WATER QUALITY VARIABILITY IN MINING AREAS

Efimov V.A. 365

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА СТОКА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА РЕКАХ

Задонская О.В. 366

ORGANIZATION OF NUTRIENT RUNOFF MONITORING ON RIVERS

Zadonskaya O.V. 368

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ СЕДИМЕНТАЦИИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Калинин В.Г., Ковязина И.А. 369

CHARACTERISTICS OF SEDIMENTATION PROCESSES IN THE CENTRAL PART OF THE KAMA RESERVOIR

Kalinin V.G., Koviazina I.A. 372

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СТОК РЕК С СИЛЬНО ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ИЛАССКОГО БОЛОТНОГО МАССИВА

Каштаненко В. И., Потапова Т. М. 373

HYDROCHEMICAL RIVER OF RIVERS FROM STRONGLY SHOCKED TERRITORIES BY THE EXAMPLE OF THE ILAS BOG

Kashtanenko V. I., Potapova T. M. 376

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА НА УЧАСТКЕ НИЖНЕГО БЬЕФА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Кильдибеков Е. С., Пряхина Г. В., Иванин В. И. 377

INFLUENCE OF NOVOSIBIRSK WATER RESERVOIRS ON THE RIVER FLOW

Kildibekov E. S., Pryakhina G. V., Ivanin V. I. 381

РОЛЬ ВОДНОГО БАЛАНСА В ХАРАКТЕРЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ДЛЯ РАЙОНА ПЕРЕМЕННОГО ПОДПОРА КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Китаев А.Б., Шайдулина А.А. 382

ROLE OF WATER BALANCE IN THE CHARACTER OF THE LEVEL MODE FOR THE AREA OF VARIABLE BACKWATER OF THE KAMA RESERVOIR

Kitaev A.B., Shaidulina A.A. 385

ПОТОКИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РЕКАХ БАССЕЙНА СЕЛЕНГИ В ПАВОДКОВЫЙ ПЕРИОД

Козачук М.Н., Лычагин М.Ю. 386

FLUXES OF HEAVY METALS IN SELENGA RIVER BASIN DURING SUMMER FLOOD

M.N. Kozachuk, M.Yu. Lychagin 390

ПРОБЛЕМЫ СТАТИСТИК ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОТОКАХ

Лепихин А.П. 391

PROBLEMS OF STATISTICS OF HYDROCHEMICAL INDICES OF WATER QUALITY IN NATURAL WATERCOURSES

Lepikhin A.P. 394

РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ПДК: НЕОБХОДИМОСТЬ, МЕТОДИКА, ПРИМЕР

Лепихин А.П., Возняк А.А., Веницианов Е.В. 395

DEVELOPMENT OF REGIONAL MPCS: THE NEED, METHODOLOGY, EXAMPLE

Lepikhin A.P., Wozniak A.A., Venitsianov E.V. 400

ЭМИССИЯ МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Ломов В.А., Гречушникова М.Г., Репина И.А., Степаненко В.М., Казанцев В.С., Артамонов А.Ю. 401

METHANE EMISSION FROM RESERVOIRS SURFACE

LOMOV V.A., GRECHUSHNIKOVA M.G., REPINA I.A., STEPANENKO V.M., KAZANTSEV V.S., ARTAMONOV A.U. 405

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕК КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

МАЛЫГИН Е.В., ЛЫЧАГИН М.Ю., МАЛЫГИН И.В. 406

MACHINE LEARNING APPROACH FOR RIVER WATER QUALITY MODELING: THE CRIMEAN PENINSULA CASE STUDY

MALYGIN E.V., LYCHAGIN M.YU., MALYGIN I.V. 411

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДОСТАТОЧНОГО РЕЧНОГО СТОКА НА ПРИМЕРЕ АЗОТА НИТРАТНОГО

МОСЕЙКОВА А.М., ШЕЛУТКО В.А. 412

THE DEVELOPMENT OF METHODS OF DETERMINATION OF ECOLOGICALLY SUFFICIENT RIVER FLOW FOR THE EXAMPLE OF NITRATE NITROGEN

MOSEYKOVA A.M., SHELUTKO V.A. 415

УРБАНИЗАЦИЯ КАК ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

НЕФЕДОВА Е.Г. 416

URBANIZATION AS ONE OF THE MAIN FACTORS OF INCREASING OF ANTROPOGENIC PRESSURE ON AQUATIC ECOSYSTEMS IN VORONEZH OBLAST

NEFEDOVA YE.G. 420

ИЗМЕНЕНИЕ ВОДНЫХ И ОКОЛОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ЗЕЙСКОЙ ГЭС В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕКИ ЗЕЯ

НИКИТИНА О.И., БАЗАРОВ К.Ю., ЕГИДАРЕВ Е.Г., КАНЗЕПАРОВА А.Н. 421

TRANSFORMATION OF FRESHWATER ECOSYSTEMS LOCATED BELOW ZEYA DAM UNDER CONDITIONS OF WATER FLOW REGULATION

NIKITINA O.I., BAZAROV K.YU., EGIDAREV E.G., KANZEPAROVA A.N 426

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ КЛАССЫ ВОД

ОЗЕРСКИЙ А.Ю. 427

SPECIFIC HYDROCHEMICAL WATER FACIES

OZERSKIY A.YU. 432

ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ ДЛЯ СЕКТОРОВ ЭКОНОМИКИ И СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

ПЕТЕРС А.А., ВАСИЛЬЕВ М.П., ТЮСОВ Г.А. 433

THE WEATHER AND CLIMATE RELATED RISKS FOR ECONOMY AND SOCIAL SPHERE OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

PETERS A. A., VASILEV M. P., TYUSOV G.A. 439

ПРИРАЩЕНИЕ ГОДОВОГО И СЕЗОННОГО СТОКА НИТРАТНОГО АЗОТА ПО Р. ВЕЛИКОЙ В ПРЕДЕЛАХ Г. ПСКОВ

ПЕТРОВА Н.Н., ШЕЛУТКО В.А. 440

INCREASE OF THE ANNUAL AND SEASONAL FLOW OF NITRATE NITROGEN BY THE RIVER. VELIKAYA IN THE VICINITY OF PSKOV

PETROVA N.N., SHELUTKO V.A. 442

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ХОЛОДНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ РАЙОНОВ АЗОТНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

ПОТУРАЙ В.А. 443

ORGANIC MATTER IN COLD WATER ECOSYSTEMS OF AREAS NITROGEN THERMAL WATER IN THE CONTINENTAL PART OF THE FAR EAST, THE ECOLOGICAL ASPECT

POTURAY V.A. 448

ГИДРОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИДУНАЙСКИХ ОЗЕР УКРАИНЫ

РОМАНОВА Е.А. , ШАКИРЗАНОВА Ж.Р. 449

HYDROLOGICAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF USE OF NATURAL RESOURCES OF THE DANUBE LAKES OF UKRAINE

ROMANOVA E.A. , SHAKIRZANOVA ZH.R. 454

СУЛЬФАТЫ (SO_4^{2-}) И ХЛОРИДЫ (CL^-) КАК ПОКАЗАТЕЛИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ РЫБНИЦКОГО УГОЛЬНОГО РАЙОНА В ПОЛЬШЕ)

РОМАНЧУК А.И. 455

SULFATES (SO_4^{2-}) AND CHLORIDES (CL-) AS INDICATORS OF MINING POLLUTION OF SURFACE WATERS (ON THE EXAMPLE OF THE RESORVOIRS WITHIN THE RYBNIK COAL AREA IN POLAND)

ROMANCHUK A. I. 460

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ОЦЕНКИ РЕЧНОГО СТОКА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ К ПОЛНОТЕ И СПОСОБАМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

СОКОЛОВ Д.И. 461

ASSESSMENT OF ORGANIC MATTER FLOW IN RIVERS: DEPENDENCE ON THE DETAILS AND INTERPRETATION METHODS OF ORIGINAL DATA

SOKOLOV D.I. 466

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ВОДОТОКОВ К ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЕСТЕСТВЕННОГО РЕЖИМА

Титова Ю. М., Примак Е. А., Зуева Н. В. 467

DEVELOPMENT OF AN INTEGRAL INDEX FOR ASSESSING THE WATERCOURSE STABILITY UNDER NATURAL CONDITIONS CHANGES

Titova I. M., Primak E. A., Zueva N. V. 471

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ РАЙОНА ПЕРЕМЕННОГО ПОДПОРА КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Толочко Ю. А. 472

EFFECT OF WIND ON THE VELOCITY REGIME IN THE AREA VARIABLE BACKWATER OF THE KAMA RESERVOIR

Tolochko Y. A. 476

МОНИТОРИНГ ТЕПЛОВЫХ СТОКОВ НА ВОДОСБОРАХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Чекмарева Е.А. 477

MONITORING OF THE IMPACT OF THERMAL EFFLUENTS IN THE CATCHMENT AREAS OF WATER BODIES

Chekmareva E.A. 482

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО ВЫСОКОГОРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Шарапова Е.О., Ефимова Л.Е., Льюмменс Л., Ломов В.А. 483

HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL RESEARCH OF WATER OBJECTS IN KABARDINO- BALKARIAN HIGHLAND RESERVE

Sharapova E. O. , Efimova L. E., Leummens L., Lomov V.A. 487

ПРОБЛЕМА ДОСТУПА К ЧИСТОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Шестакова Е.Н. 488

THE PROBLEM OF ACCESS TO SAFE DRINKING WATER IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Shestakova E.N. 492

ОЦЕНКА ИОННОГО СТОКА ПРИТОКОВ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДАННЫМИ НАБЛЮДЕНИЙ

Якимова А.И., Соколов Д.И. 493

ION FLOW ASSESSMENT OF MOZHAYSK RESERVOIR'S TRIBUTARIES DEPENDENDING ON THE DETAILS OF ORIGINAL DATA

Yakimova A.I., Sokolov D.I. 498

INVESTIGATING THE EFFECT OF LAND USE COVER AND GEOLOGY ON GROUNDWATER QUALITY (CASE STUDY: HABLEHROUD RIVER BASIN)

OMID ASADI NALIVAN, AMIR SADODDIN, GHOLAM HOSEEIN KARAMI, VAHEDBERDI SHEIKH 499

СЕКЦИЯ 4 МНОГОГРАННАЯ ГИДРОЛОГИЯ

SESSION 4 REGIONAL HYDROLOGICAL STUDIES 505

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РЕЧНОГО СТОКА И ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

ВОРОНЮК Г.Ю., МАРКОВ М.Л., ТОКАРЕВ И.В. 506

ISOTOPE HYDROLOGY AND MAPPING OF LOW RIVER FLOW TO GROUNDWATER RESOURCES ASSESSMENT OF THE WEST OF LENINGRAD REGION

VORONYUK G.Y., MARKOV M.L., TOKAREV I.V. 511

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ ТЕПЛА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ТЕРМОКОСЫ И МЕТЕОСТАНЦИИ

МИХАЙЛОВ В.А., МЫСЛЕНКОВ С.А. 512

VARIABILITY OF HEAT FLUXES IN THE COASTAL ZONE OF THE BALTIC SEA ACCORDING TO THERMO-CHAIN AND WEATHER STATION DATA

MIHAILOV V.A., MYSLENKOV S.A. 514

ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК РОССИИ. УРАЛ. РЕКА АЙ

МЯКИШЕВА Н.В., ГОРБАТЕНКО А.А. 515

REGIME OF RUSSIAN RIVERS. URAL. THE RIVER AY

MYAKISHEVA N.V., GORBATENKO A.A. 519

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА МАЛЫХ РЕЧНЫХ СИСТЕМ ВНЕШНЕГОРНОГО ДАГЕСТАНА ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

ГУРУЕВ М.А., АБДУРАШИДОВ Д.Г., АЛИЕВ Ш.А. 520

THE TRANSFORMATION OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF SMALL RIVER SYSTEMS OF DAGESTAN UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS

GURUEV M.A., ABDURASHIDOV D. G., ALIEV SH. A. 525

РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК ВЕРХНЕГО ДОНА

ДМИТРИЕВА В.А. 526

REGIONAL ASPECTS OF THE HYDROLOGICAL REGIME TRANSFORMATION OF RIVERS IN THE UPPER DON AREA

DMITRIEVA V.A 531

ПОДЗЕМНЫЙ СТОК ОКИНСКОЙ ВПАДИНЫ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

БАДМИНОВ П.С., ОРГИЛЬЯНОВ А.И., ДМИТРИЕВ-ДОБРОВОЛЬСКИЙ В.Е. 532

GROUNDWATER FLOW OF THE OKINSKAYA DEPRESSION (EASTERN SAYAN)

BADMINOV P.S., ORGILYANOV A.I., DMITRIEV-DOBROVOLSKY V.E. 537

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАБОЛОЧЕННОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧНОГО СТОКА

ЖУРАВЛЕВА А.Д., БАТУЕВ В.И. 538

ASSESSMENT OF THE WETLANDS IMPACT ON THE RIVER FLOW CHARACTERISTICS

ZHURAVLEVA A. D., BATYEV V.I. 542

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И МОРФОДИНАМИКА УСТЬЕВЫХ СИСТЕМ КАМЧАТКИ

ЗАХАРОВА Э.Д. 543

GEOMORPHOLOGY AND MORPHODYNAMICS OF KAMCHATKA ESTUARINE SYSTEMS

ZAKHAROVA E.D. 546

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА В ДЕЛЬТЕ Р. СЕЛЕНГИ

ИЛЬИЧЁВА Е.А. 547

THE ANALISIS OF RUNOFF IN THE SELENGA RIVER DELTA

ILICHEVA E.A. 552

ИЗМЕНЕНИЯ СООТНОШЕНИЙ СТОКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕК АЗЕРБАЙДЖАНА

ИМАНОВ Ф.А., КУРБАНОВ Ч.З., ГАСАНОВА Н.И. 553

CHANGE OF PROPORTION OF RUNOFF CHARACTERISTICS OF RIVERS OF AZERBAIJAN

IMANOV F.A., KURBANOV CH.Z., HASANOVA N.I. 557

ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНОГО КАНЬОНА НА ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УСТЬЯХ РЕК

ИСУПОВА М.В., ДОЛГОПОЛОВА Е.Н. 558

THE INFLUENCE OF THE SUBMARINE CANYON ON THE HYDROLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PROCESSES IN RIVER MOUTHS

ISUPOVA M.V., DOLGOPOLOVA E.N 563

ОСОБЕННОСТИ МОРФОДИНАМИКИ РУСЛА И БАЛАНС НАНОСОВ НА ВЕРХНЕЙ ОБИ (НА УЧАСТКЕ ОТ Г. БАРНАУЛА ДО Г. КАМЕНЬ-НА-ОБИ)

КАМЫШЕВ А.А. 564

THE FEATURES OF RIVERBED MORPHODYNAMICS AND SEDIMENT BALANCES IN THE UPPER PART OF OB RIVER (THE DISTRICT OF RESEARCH BARNAUL–KAMEN-NA-OBI)

KAMYSHEV A.A. 567

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ГОДОВОГО СТОКА РЕК СЕВЕРА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

КАРАШОВА М. И. 568

THE ANALYSIS OF THE CLIMATE CHANGE IMPACT ON THE ANNUAL RIVER RUNOFF OVER THE RUSSIAN ARCTIC FAR EASTERN SECTOR

KARASHOVA M. I. 573

ФАКТОРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА И ВОДНОГО РЕЖИМА Р. УРАЛ

МАГРИЦКИЙ Д.В., ШКОЛЬНЫЙ Д.И., ЮМИНА Н.М., КЕНЖЕБАЕВА А.Ж. 574

FACTORS AND REGULARITIES OF THE URAL RIVER'S FLOW AND WATER REGIME CHANGES

MAGRITSKY D.V., SHKOLNYI D.I., YUMINA N.M., KENZHEBAYEVA A.ZH. 579

ПАВОДОЧНЫЙ СТОК НА РЕКАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ЕГО РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ СОВРЕМЕННОГО ВОДНОГО РЕЖИМА

КИРЕЕВА М.Б., РЕЦ Е.П., ФРОЛОВА Н.Л., ЕЗЕРОВА Н.Н. 580

THE OCCASIONAL FLOODS ON THE RIVERS OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA AND ITS ROLE IN THE FORMATION OF THE MODERN WATER REGIME

KIREEVA M.B., RETS E.P., FROLOVA N.L., EZEROVA N.N. 585

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОГО СТОКА Р.ДОН В СОВРЕМЕННЫЙ МАЛОВОДНЫЙ ПЕРИОД

А.В.КЛЕЩЕНКОВ 586

THE FEATURES OF SOLID RUNOFF OF THE RIVER DON IN MODERN LOW-FLOW PERIOD

KLESHCHENKOV A.V. 589

ЭОЛОВЫЕ ОЗЕРА СЕЛЕНГИНСКОГО СРЕДНЕГОРЬЯ

КОБЫЛКИН Д.В., ГОЛУБЦОВ В.А., ОПЕКУНОВА М.Ю. 590

AEOLIAN LAKES OF THE SELENGINSKOE UPLANDS

KOBYLKIN D.V., GOLUBTSOV V.A., OPEKUNOVA M.YU. 595

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК КАМЧАТСКОГО КРАЯ

КУКСИНА Л.В., АЛЕКСЕЕВСКИЙ Н.И. 596

APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS FOR SUSPENDED SEDIMENT YIELD ASSESSMENT IN RIVERS OF THE KAMCHATSKY KRAI, RUSSIA

KUKSINA L.V., ALEXEEVSKY N.I. 6011

ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНОГО ПИТАНИЯ ПРИТОКОВ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ НА УЧАСТКЕ ТВЕРЬ – ДУБНА

Лапина Е.Е., Кудряшова В.В. 602

FEATURES OF UNDERGROUND FEEDING OF THE TRIBUTARIES OF THE UPPER VOLGA ON A STRETCH TVER – DUBNA

Lapina E.E., Kudryashova V.V. 605

ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕКИ ОБИ В ПРЕДЕЛАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕГО МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Мельникова Я.А., Вершинин Д.А. 606

INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF RUNOFF OF SUSPENDED SEDIMENTS OF THE OB RIVER WITHIN THE TOMSK OBLAST AND ITS LONG-TERM CHANGES

Melnikova J.A., Vershinin D.A. 609

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИН ПЕРЕХВАТА ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ ХВОЙНЫМИ ПОРОДАМИ ЛЕСОВ УРАЛА

Остахова А.Л., Клименко Д.Е. 610

ESTIMATION OF THE VALUES OF INTERCEPTION OF RAINFALL BY CONIFEROUS SPECIES IN THE FORESTS OF THE URALS

Ostakhova A.L., Klimenko D.E. 613

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО РЕЖИМА АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА

Осташов А.А., Соловьев В.А., Пряхина Г.В. 614

ASSESSMENT OF SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE CHARACTERISTICS OF THE WATER REGIME OF THE ALTAI-SAYAN REGION

Ostashov A.A., Solovyev V.A., Pryakhina G.V. 617

ОЗЕРА ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ

Павлов М.В., Ильичева Е.А., Кобылкин Д.В. 618

THE LAKES OF THE SELENGA RIVER DELTA

Pavlov M.V., Ilicheva E.A., Kobylkin D.V. 623

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ: ОСОБЕННОСТИ И СВЯЗЬ С ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Потемкина Т.Г. 624

MODERN CHANGES OF HYDROMETEOROLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE CATCHMENT BASIN OF LAKE BAIKAL: FEATURES AND COMMUNICATION WITH ENVIRONMENTAL PROCESSES

Potemkina T.G. 626

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕК: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ИХ УЧЕТ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ

Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Осипова Т.Н., Гаврилкина С.А., Виноградова Т.А. 627

FACTORS OF SMALL MOUNTAIN RIVERS FLOW FORMATION: TAKING INTO ACCOUNT THE REGIONAL FEATURES FOR RUNOFF MODELING

Pryakhina G., Zelepukina E.S., Osipova T.N., Gavrilkina S.A., Vinogradova T.A. 631

ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК

Решин Н.А., Тимофеева Л.А., Серова О.А., Абрамов Д.В. 632

LANDSCAPE AND HYDROLOGICAL SIMILARITY OF SMALL AND MEDIUM-SIZED CATCHMENTS

Reshin N.A., Timofeeva L.A., Serova O.A., Abramov D.V. 636

ОБЗОР ДОКУМЕНТОВ ВСЕМИРНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПО ГИДРОЛОГИИ

Саноцкая Н.А. 637

REVIEW OF WMO DOCUMENTS FOR HYDROLOGY

Sanotskaya N.A. 641

ОЦЕНКА СТОКА С ГОРНЫХ ВОДОСБОРОВ ЗАПАДНОГО САЯНА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Соловьев В.А., Пряхина Г.В. 642

ASSESSMENT OF THE RUNOFF FROM THE MOUNTAIN WATERSHEDS OF THE WESTERN SAYAN MOUNTAINS BASED ON METHODS OF MATHEMATICAL MODELING

Solovev V.A., Priakhina G.V. 645

НЕОДНОРОДНОСТИ В МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЯХ РЕЧНОГО СТОКА И ОСНОВНЫХ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Соломонова И.В., Фролов А.В. 646

HETEROGENEITIES IN LONG-TERM FLUCTUATIONS OF THE RIVER RUNOFF AND THE BASIC HYDRO-CLIMATIC PROCESSES AT THE NORTHERN DVINA BASIN UNDER CLIMATE CHANGES

Solomonova I.V., Frolov A.V. 650

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ ОЗЕР К ВНЕШНЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Суховило Н.Ю. 651

METEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY OF BELARUSIAN POOZERIE AS FACTOR OF LAKE'S RESISTANCE TO EXTERNAL IMPACT

Sukhovilo N.Y. 655

ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОСУШЕННЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Синюткина А.А., Магур М.Г., Малолетко А.А. 656

ESTIMATION OF THE PROCESSES OF NATURAL RESTORATION OF DRAINED BOGS IN WESTERN SIBERIA

Kharanzhevskaya Yu. A., Gashkova L.P., Sinyutkina A.A., Magur M.G., Maloletko A.A. 662

ОСВОЕНИЕ РЕЧНЫХ ДОЛИН ЧЕЛОВЕКОМ В КАМЕННОМ ВЕКЕ

Шашерина Л. В. 663

THE OCCUPANCY OF RIVER VALLEYS BY HUMAN IN THE STONE AGE

Shasherina L. V. 667

ПРИЧИНЫ ВТОРЖЕНИЯ СОЛЕНЫХ ВОД (ПОСТУПЛЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ) В ДЕЛЬТУ РЕКИ МЕКОНГ (ВЬЕТНАМ) И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЕЁ СОСТОЯННИЕ

Чан Х. Т. D.A. 668

CAUSES OF INVASION OF SALT WATER (INCREASING SEA WATER) IN THE DELTA IN THE MEKONG RIVER (VIETNAM) AND THEIR IMPACT ON ITS STATE

Tran H. T. 672

SIMULATION OF WATER YIELD IN DIFFERENT PLANT TYPES BASED ON INVEST MODEL

Mehrnaz Haghdadi, Gholamali Heshmati, Mojgan Sadat Azimi, Hamid Siroosi 673

СЕКЦИЯ 5 НА ГРАНИ НАУКИ И ПРАКТИКИ

SESSION 5 ENGINEERING AND APPLIED HYDROLOGY 680

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГРАФА СТОКА МАЛЫХ РЕК ГОРНОГО АЛТАЯ

Аминова Ю.Д., Инишев Н.Г., Земцов В.А. 681

MODELING FLOW HYDROGRAPH OF THE URSUL RIVER (ALTAI MOUNTAINS)

Aminova J. D., Inishev N. G., Zemtsov V. A. 684

ИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ СТОКОФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Амосова И.Ю., Ильичева Е.А. 685

INDICATIVE ESTIMATION OF THE CONDITIONS FOR THE FORMATION OF FLOW OF BAIKAL RIVER SYSTEMS

Amosova I.Y., Ilicheva E.A. 689

ЛАНДШАФТНО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА

Барышников С.Г., Ботвенко Е.О., Ротанова И.Н. 690

LANDSCAPE-CARTOGRAPHIC SUPPORT OF HYDROLOGICAL MATHEMATICAL MODELS OF THE WATER FLOW FORMATION

Baryshnikov S.G., Botvenko E.O., Rotanova I.N. 694

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

Барышников Н.Б., Дрегваль М.С. 695

HYDRAULIC RESISTANCE OF FLUVIAL CHANNELS

Baryshnikov N.B., Dregval M.S. 697

РАЗРАБОТКА ДОЛГОСРОЧНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И МЕТОДОВ ЕЁ ОБРАБОТКИ

Беляев Б. М., Варенцова Н. А. 698

DEVELOPMENT OF LONG-TERM HYDROLOGICAL SPRING HIGH-WATER PERIOD FORECASTS BASED ON MODERN HYDROMETEOROLOGICAL INFORMATION AND METHODS OF ITS PROCESSING

Belyaev B.M., Varentsova N. A. 702

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ К РАСЧЕТУ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛЫХ РЕК

Возняк А.А. 703

APPLICATION OF REGIONAL METHODS TO THE CALCULATION OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF SMALL RIVERS

Wozniak A.A. 708

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТМЕТОК ПОРОГОВ СЛИВА НА НЕИЗУЧЕННЫХ ОЗЕРАХ

Давыденко Е.В. 709

DETERMINATION THE LEVEL MARK OF THRESHOLD DRAIN OF UNEXPLORED DRAINAGE LAKE

Davydenko E.V. 710

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

Докус А.А., Шакирзанова Ж.Р. 711

FORECASTING AND ESTIMATION OF HYDROLOGICAL RISKS DURING THE SPRING FLOOD

Dokus A.O., Shakirzanova Zh.R. 716

СКОРОСТНЫЕ ПОЛЯ ПОТОКОВ В РУСЛАХ СЛОЖНЫХ ФОРМ СЕЧЕНИЯ

Исаев Д.И., Барышников Н.Б. 717

VELOCITY FIELD IN COMPOUND OPEN CHANNEL FLOWS

ISAEV D.I., BARYSHNIKOV N.B. 721

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА МАЛОЙ РАВНИННОЙ РЕКИ (НА ПРИМЕРЕ Р. ВЕЛЕСА В БАССЕЙНЕ ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ)

КАЗАЧУК А.А., ТЕРСКИЙ П.Н. 722

SMALL RIVER RUNOFF MODELING USING SWAT (CASE STUDY ON VELESA RIVER, ZAPADNAYA DVINA BASIN)

KAZACHUK A.A., TERSKII P.N. 727

ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЧНОГО СТОКА В МНОГОВОДНЫЕ ГОДЫ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОСБОРА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

КАЛИНИН В.Г., МЕХАНОШИНА Е.В., ПИСКАРЕВА К.И., БОГДАНОВА К.А. 728

THE INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF RIVER RUNOFF IN HIGH WATER YEARS (ON THE EXAMPLE OF VOTKINSKOE RESERVOIR CATCHMENT AREA)

KALININ V.G., MEKHANOSHINA E.V., PISKAREVA K.I., BOGDANOVA K.A. 732

ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА КРУПНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНОГО РЕЖИМА

КАЛУГИН А.С. 733

FEATURES OF CALIBRATION OF REGIONAL PHYSICALLY-BASED MODELS OF RUNOFF FORMATION OF LARGE RIVER BASINS FOR ESTIMATION OF CLIMATE-DETERMINED CHANGES IN WATER REGIME

KALUGIN A.S. 738

СТОК С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

КОРОНКЕВИЧ Н.И., ДОЛГОВ С.В., МЕЛЬНИК К.С. 739

RUNOFF FORMATION FROM AGRICULTURAL FIELDS AND SUBURBAN AREAS IN EUROPEAN PART OF RUSSIA

KORONKEVICH N.I., DOLGOV S.V., MELNIK K.S. 744

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО СТОКА РАВНИННЫХ РЕК ДЛЯ БЛОКА ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ СИСТЕМЫ

КОРПУШЕНКОВ И. А., СТЕПАНЕНКО В. М. 745

NUMERICAL MODELING OF THE WATER FLOW OF PLAIN RIVERS FOR THE BLOCK OF THE LAND SURFACE MODEL OF EARTH SYSTEM MODELS (ESM)

KORPUSHENKOV I. A., STEPANENKO V. M. 748

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА Р. ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ

КУРОЧКИНА Л.С., ЖУРАВЛЕВ С.А., ДАНИЛОВИЧ И.С., КВАЧ Е.Г. 749

MODEL ESTIMATES OF CLIMATE-RELATED STREAMFLOW CHANGES IN THE WESTERN DVINA RIVER BASIN

KUROCHKINA L.S., ZHURAVLEV S.A., DANILOVICH I.S., KVACH E.G. 753

ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ И ДВУМЕРНОЙ ПРОФИЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОСОЛОНЕННЫХ ВОД В ПРИЛИВНЫХ УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ

ЛЕБЕДЕВА С.В., ПАНЧЕНКО Е.Д., АРАКЕЛЬЯНЦ А.Д. 754

1D AND 2D HYDRODYNAMIC MODELS OF SALINITY INTRUSIONS IN TIDAL ESTUARIES: CAPABILITIES AND LIMITATIONS

LEBEDEVA S.V., PANCHENKO E.D., ARAKELYANTS A.D. 759

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА СЕЗОННЫХ ДЕФИЦИТОВ СТОКА ОБОБЩЕННЫМ МЕТОДОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТРЕБОВАНИЯХ К ОТДАЧЕ

ЛЕГОТИНА П. А., САКОВИЧ В. М. 760

ESTIMATION OF THE ACCURACY OF CALCULATION OF SEASONAL RUNOFF DEFICITS BY A GENERALIZED METHOD WITH DIFFERENT REQUIREMENTS FOR THE YIELD

LEGOTINA P. A., SAKOVICH V. M. 765

ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В РУСЛОВЫХ ПОТОКАХ

ЛЕПИХИН А.А. 766

PECULIARITIES OF PARAMETRIZATION OF HYDRAULIC RESISTANCE FACTORS IN STREAM FLOWS

LEPIKHIN A.A. 770

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РЕЧНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

НИКИФОРОВСКАЯ В.С., ЛАПТЕВА Н.А. 771

NUMERICAL MODELING HYDROLOGIC AND HYDRO-CHEMICAL REGIMES OF RIVER AND WATER ECONOMIC SYSTEMS

NIKIFOROVSKAY V.S., LAPTEVA N.A 775

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА МАЛОГО ГОРНОГО ВОДОСБОРА (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ МЗЫМТЫ)

ПАНЫШЕВА К. М. 776

RUNOFF MODELLING IN A SMALL MOUNTAINIOUS WATERSHED: THE MZYMTA RIVER CASE STUDY

PANYSHEVA K. M. 780

ГРАНИ ГИДРОЛОГИИ ПРИ СОВРЕМЕННОМ И ПЕРСПЕКТИВНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТОКА ВЕРХНЕЙ ОБИ

САВКИН В.М., ДВУРЕЧЕНСКАЯ С.Я., КОНДАКОВА О.В. 781

HYDROLOGICAL ASPECTS OF PRESENT AND PERSPECTIVE USE OF WATER RESOURCES OF UPPER OB

SAVKIN V.M., DVURECHENSKAYA S.YA., KONDAKOVA O.V. 786

ПРИЧИНЫ И СКОРОСТИ ЗАИЛЕНИЯ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННО ОСВОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (НА ПРИМЕРЕ Р. ЛЕЩИНКИ, КУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

СЁМОЧКИНА А.Е., БЕЛЯЕВ В.Р., ИВАНОВ М.М., ГУРИНОВ А.Л. 787

SILTATION CAUSES AND RATES OF SMALL RESERVOIRS ON AGRICULTURAL TERRITORIES (LESCHINKA RIVER, KURSK REGION)

SEMOCHKINA A.E., BELYAEV V.R., GURINOV A. L., IVANOV M. M. 790

ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ ПРИ АНАЛИЗЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ

СИКАН А.В. 791

TESTING OF STATISTICAL HYPOTHESES IN THE ANALYSIS OF HYDROLOGICAL SERIES

SIKAN A.V. 791

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ВСЕСЕЗОННОЙ ТРАССЫ В РАЙОНЕ РОССИЙСКОЙ СТАНЦИИ ПРОГРЕСС, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА, В СЕЗОН 63-Й РАЭ (2017/18 Г.)

СУХАНОВА А.А., ПОПОВ С.В., ГРИГОРЬЕВА С.Д. 797

ENGINEERING SURVEY AIMED AT ORGANIZATION A YEAR-ROUND ROUTE AT THE AREA OF THE PROGRESS STATION, EAST ANTARCTICA, DURING THE SEASON OF THE 63RD RAE (2017/2018)

SUKHANOVA A.A., POPOV S.V., GRIGOREVA S.D. 800

ОПЫТ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ДЕЛЬТЕ ДОНА В 2015-2017 ГГ.

ТРЕТЬЯКОВА И.А., ЯИЦКАЯ Н.А., БЕРДНИКОВ С.В. 801

EXPERIENCE OF SHORT-TERM SURGE PHENOMENA FORECASTING IN THE DELTA OF THE DON RIVER FROM 2015 TO 2017

TRETYAKOVA I.A., YAITSKAYA N.A., BERDNIKOV S.V. 805

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ (МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО) ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВЫБОРОЧНЫХ ОЦЕНОК ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ НАБЛЮДЕНИЙ

ШЕЛУТКО В. А., УРУСОВА Е.С. 806

THE APPLICATION OF THE METHOD OF STATISTICAL TESTS (THE MONTE CARLO METHOD) FOR ESTIMATING THE ERRORS OF SAMPLE ESTIMATES OF NUMERICAL CHARACTERISTICS FROM THE TIME SERIES OF OBSERVATIONS

SHELUTKO V.A., URUSOVA E.S. 811

SPATIAL MODELING OF FLOOD INUNDATION USING GIS AND DATA MINING TOOLS (A CASE STUDY: THE GORGANROOD WATERSHED, IRAN)

AIDING KORNEJADY, HAMID REZA POURGHASEMI, OMID ASADI NALIVAN, MAJID OWNEGH 812

MODELING THE HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF PIPING COLLAPSE USING SUMMARY STATISTICS IN GOLESTAN PROVINCE, IRAN

MOHSEN HOSSEINALIZADEH, NARGES KARIMINEJAD, MOHAMMAD ALINEJAD 818

ANALYSIS OF HYDROMETRIC NETWORKS USING ENTROPY

PÁDUA L., NAGHETTINI M., SILVA F. 824

RUNOFF CONTROL USING SOIL AMENDMENTS

ZEINAB KARIMI, SEYED HAMIDREZA SADEGHI 830

BIOREGIONAL ASSESSMENTS: A ROBUST METHODOLOGY FOR CARRYING OUT CUMULATIVE IMPACT ASSESSMENTS

POST, D.A. 834

СЕКЦИЯ 6 ЗА ГРАНЬЮ КАТАСТРОФ

SESSION 6 HYDROLOGICAL HAZARDS 839

ПОДХОДЫ К ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ WEB-ГИС ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

БАЛДАКОВ Н.А., ЛОВЦКАЯ О.В. 840

METHODS FOR FLOOD ZONES VISUALIZATION IN WEB-GIS FROM RESULTS OF HYDROLOGICAL MODELLING

BALDAKOV N.A., LOVTSKAYA O.V. 844

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ МАЛЫХ РЕК НА АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НА ПРИМЕРЕ НОВОЙ МОСКВЫ

БЕКАСОВ М.А, АЙБУЛАТОВ Д.Н. 845

DETERMINING OF THE MAXIMUM RAINFALL DISCHARGES IN THE SMALL RIVERS ON THE ANTHROPOGENIC CHANGED TERRITORIES FOR NEW MOSCOW REGION

BEKASOV M.A., AIBULATOV D.N. 848

АНАЛИЗ ПОЛОВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОГИБШИХ ОТ НАВОДНЕНИЙ В РОССИИ ЗА 2000-2014 ГГ

БЕЛЯКОВА П.А., МОРЕЙДО В.М., ПЬЯНКОВА А.И. 849

FLOOD FATALITIES AGE AND GENDER STRUCTURE ANALYSIS IN RUSSIA IN 2000-2014

BELYAKOVA P.A., MOREIDO V.M., PYANKOVA A.I. 853

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЛЕДНИКОВЫХ ПАВОДКОВ НА ПРИМЕРЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПРОРЫВА ВОДОЁМА В ЛЕДНИКЕ ДОЛК (ПОЛУОСТРОВ БРОКНЕС, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)

Боронина А.С., Попов С.В., Пряхина Г.В. 854

MATHEMATICAL MODELLING OF THE SUBGLACIAL FLOODS ILLUSTRATED WITH THE CATASTROPHIC OUTBURST RESERVOIR AT THE DÅLK GLACIER (BROKNES PENINSULA, EAST ANTARCTICA)

Boronina A.S., Popov S.V., Pryakhina G.V. 859

РАЗРУШЕНИЕ АВТОДОРОГ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА МОРСКИХ ТЕРРАСАХ, В СВЯЗИ С ДЕФЕКТАМИ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Верховов К.В., Рыбальченко С.В. 860

THE DESTRUCTION OF ROADS, LOCATED ON THE MARINE TERRACES, IN RESPECT OF DEFECTS IN DRAINAGE

Verkhovov K.V., Rybalchenko S.V. 863

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ДИНАМИКИ ВОДОСНЕЖНЫХ ПОТОКОВ НА МОРСКИХ ТЕРРАСАХ

Генсиоровский Ю.В., М.С. Древило, Д.А. Боброва, С.П. Жируев 864

FORMATION AND DYNAMICS OF SLUSHFLOW ON SEA TERRACES

Gensiorovskiy Yu.V., M.S. Drevilo, D.A. Bobrova, S.P. Zhiruev 867

РАЗРАБОТКА СХЕМ ПЛАНИРОВОЧНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ К ГЕНЕРАЛЬНЫМ ПЛАНАМ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ КАК МЕРОПРИЯТИЕ ПО СНИЖЕНИЮ УЩЕРБОВ ОТ НАВОДНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА О. САХАЛИН)

Генсиоровский Ю.В., Н.А. Казаков, Д.А. Боброва, Е.Н. Казакова, А.А. Музыченко, С.В. Рыбальченко, С.П. Жируев, В.С. Павлов, Л.Е. Музыченко, А.Ю. Виноградов, А.В. Кучмин 868

DEVELOPMENT OF SCHEMES OF PLANNING RESTRICTIONS TO THE GENERAL PLANS OF SETTLEMENTS AS AN ACTION TO REDUCE FLOOD DAMAGE (ON THE EXAMPLE OF THE SOUTH OF SAKHALIN ISLAND)

Gensiorovskij Ju. V., N. A. Kazakov, D.A. Bobrova, E. N. Kazakova, A. A. Muzychenko, S.V. Rybalchenko, S. P. Zhiruev, V. S. Pavlov, L. E. Muzychenko, A. Ju. Vinogradov, A.V. Kuchmin 872

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Дурманов И.Н., Рец Е.П., Киреева М.Б., Сазонов А.А. 873

CHANGES IN MODERN MAXIMUM RIVER RUNOFF IN NORTH CAUCASUS

Durmanov I.N., Rets E.P., Kireeva M.B., Sazonov A.A. 876

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАЛОВОДНЫХ ПЕРИОДОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ДОН (НА ПРИМЕРЕ МАЛОВОДЬЯ 2007-2015 ГОДОВ)

Илич В.П., Киреева М.Б., Сазонов А.А., Михайлюкова П.Г., Харламов М.А. 877

THE FEATURES OF DROUGHTS FORMATION IN THE DON RIVER BASIN (IN THE CASE OF DROUGHT IN 2007-2015)

Ilich V.P., Kireeva M.B., Sazonov A.A., v, Kharlamov M.A. 881

СЕЛИ В АРШАНЕ 28.07.2014 Г.: МАСШТАБ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ

Казаков Н.А., Виноградов А.Ю., Виноградова Т.А., Генсиоровский Ю.В., Казакова Е.Н., Музыченко А.А., Рыбальченко С.В., Жируев С.П. 882

DEBRIS FLOWS IN ARSHAN 28.07.2014: SCALE AND REPEATABILITY

Kazakov N.A., Vinogradov A.Yu., Vinogradova T. A., Gensiorovskiy Yu. V., Kazakova E. N., Muzychenko A. A., Rybalchenko S.V., Zhiruyev S. P. 886

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОРЫВОВ ГОРНЫХ ОЗЕР И СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ В ГОРНО-БАДАХШАНСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ, ТАДЖИКИСТАН

Кидяева В.М., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.Н., Докукин М.Д., Висхаджиева К.С., Бобов Р.А., Пирмамадов У.Р., Мародасейнов Ф.О., Раимбеков Ю.Х., Курбонмамадов Д.А. 887

MODELLING OF MOUNTAIN LAKES OUTBURSTS AND DEBRIS FLOWS IN THE GORNO-BADAKHSHAN AUTONOMOUS REGION, TAJIKISTAN

Kidyaeva V.M., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A., Krylenko I.N., Dokukin M.D., Viskhadzhieva K.S. Bobov R.A., Pirmamadov U.R., Marodaseinov F.O., Raimbekov Y.H., Kurbonmamadov D.A. 892

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ В РОССИИ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ТУАПСЕ И СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С РАСЧЕТОМ ПО СТАНДАРТНЫМ МЕТОДИКАМ

Колупаева А.Д., Макарьева О.М., Н.В. Нестерова, И.Н. Бельдиман 893

HYDROLOGICAL MODELING OF THE BLACK SEA COAST RIVER FLOW IN RUSSIA BY EXAMPLE OF THE TUAPSE RIVER AND COMPARISON OF RESULTS WITH CALCULATION ACCORDING TO STANDARD METHODS

Kolupaeva.A.D., Makarieva O.M., Nesterova N.V., Beldiman I.N. 897

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАТОПЛЕНИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Крыленко И.Н., Головлев П.П., Корнилова Е.Д., Сазонов А.А., Фингерт Е.А. 898

ASSESSMENT OF THE SENSITIVITY OF FLOODING CHARACTERISTICS TO CHANGES IN NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS BASED ON A TWO-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC MODEL

Krylenko I.N., Golovlyov P.P., Kornilova E.D., Sazonov A.A., Fingert E.A. 902

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ СЦЕНАРНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕКИ УССУРИ

Лупаков С.Ю., Гарцман Б.И. 903

APPLICATION OF DYNAMIC-STOCHASTIC MODELING FOR SCENARIO-BASED ESTIMATION OF THE USSURI RIVER MAXIMUM FLOW

Lupakov S. Yu., Gartsman B.I. 907

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ В МАЛЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ЮГА ОСТРОВА САХАЛИН И ИХ НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОБЪЕКТЫ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Немчинов Е.О., Распутина В.А. 908

MUDFLOWS IN SMALL RIVER BASINS IN SOUTHERN SAKHALIN ISLAND AND THEIR NEGATIVE IMPACT ON WATER OBJECTS

Nemchinov E.O., Rasputina V.A. 912

К ВОПРОСУ О ФИЗИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ДИНАМИКИ СУХИХ ЛАВИН

Осташов А.А., Макушин М.А., Соколова Д.П., Куровская В.А., Кильдибеков Е.С. 913

TO THE ISSUE OF PHYSICAL ASPECTS OF THE DRY AVALANCHES DYNAMICS

Ostashov A.A., Makushin M.A., Sokolova D.P., Kurovskaia V.A., Kildibekov E.S. 916

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ НА МАЛЫХ ГОРНЫХ ВОДОСБОРАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Пашовкина А.А., Макарьева О.М. 917

MODELING OF THE MAXIMUM WATER DISCHARGES OF RAINFALL FLOODS AT SMALL RIVERS IN MOUNTAIN CONDITIONS OF THE NORTH-EAST RUSSIA

Pashovkina A.A., Makarieva O.M. 921

КАРТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В АТЛАСЕ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Ротанова И.Н., Харламова Н.Ф., Барышников С.Г. 922

HYDROLOGICAL RISK MAPS IN THE ATLAS OF NATURAL HAZARDS IN ALTAI KRAI

Rotanova I.N., Kharlamova N.F., Baryshnikov S.G. 927

ФОРМЫ СКЛОНОВЫХ СЕЛЕВЫХ БАССЕЙНОВ НА МОРСКИХ ТЕРРАСАХ О. САХАЛИН И ИХ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОРНЫХ ПОРОД

Рыбальченко С.В., Верховов К.В. 928

THE SLOPE DEBRIS FORMS POOLS ON THE MARINE TERRACES OF THE SAKHALIN ISLAND AND THEIR DEPENDENCE ON THE LITHOLOGICAL COMPOSITION OF ROCKS

Rybalchenko S.V., Verkhovov K.V. 932

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДВУМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ К ИЗМЕНЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕРОХОВАТОСТИ

Сазонов А.А., Крыленко И.Н 933

SENSITIVITY ANALYSIS OF TWO-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC MODEL TO CHANGES OF THE ROUGHNESS COEFFICIENT

SAZONOV A.A., KRYLENKO I.N. 938

ВОДОСНЕЖНЫЕ ПОТОКИ В ДОЛИНЕ Р. КУКИСЙОК (ХИБИНЫ)

КАЗАКОВ Н.А., СОКОЛОВА Д.П., ВОЛКОВ А.В. 939

THE SLASH FLOWS IN THE KUKISJOK RIVER VALLEY (KHIBINY)

KAZAKOV N. A. , SOKOLOVA D.P., VOLKOV A.V. 943

ВЛИЯНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМ (НА ПРИМЕРЕ Р.ОКА В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ)

ФИНГЕРТ Е.А., КРЫЛЕНКО И.Н., ГОЛОВЛЕВ П.П., АЛАБЯН А.М. 944

LINEAR INFRASTRUCTURE INFLUENCE ON FLOODPLAIN REGIME (BY THE EXAMPLE OF OKA RIVER IN RYAZAN' CITY AREA)

FINGERT E.A., KRYLENKO I.N., GOLOVLEV P.P., ALABYAN A.M. 948

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОДОСНЕЖНЫХ ПОТОКОВ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ. ПРОБЛЕМЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ

ЧЕРНОУС П.А., ВОЛКОВ А.В., СОКОЛОВА Д.П. 949

SLUSHFLOW RELEASE FORECASTING. STATE OF THE ART. PROBLEMS. PERSPECTIVES

CHERNOUS P.A., VOLKOV A.V., SOKOLOVA D.P. 953

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ РУСЛА РЕКИ АДАГУМ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ПАВОДКОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ КРЫМСКА С УЧЁТОМ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МОСТОВЫХ ПРОЁМОВ

ШЕВЕРДЯЕВ И.В. 954

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE ADAGUM RIVER BED TRANSFORMATION ON THE FLASHFLOOD PASSAGE IN KRYMSK NEIGHBORHOOD TAKING INTO ACCOUNT THE CAPACITY OF THE BRIDGE OPENINGS

SHEVERDYAEV I.V. 959

AN EXPERIMENTAL OVERVIEW OF THE CONCEPTS AND ISSUES IN THE WAY OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY AND HAZARD ASSESSMENT STUDIES

AIDING KORNEJADY, HAMID REZA POURGHASEMI, MAJID OWNEGH 960

MODELING OF UNSTEADY WATER MOVEMENT ON THE EXAMPLE OF WATER-ROCK-FLOWS AND FLOODS

KUROVSKAIA V. A., VINOGRADOVA T. A. 965

APPLICATION OF MAXIMUM ENTROPY APPROACH FOR URBAN FLOOD INUNDATION MODELING

OMID RAHMATI, ZAHRA NASIRI, BAHRAM CHOUBIN, FATEMEH FALAH 969

СПИСОК АВТОРОВ 974

AUTHOR INDEX 974

Многогранный Юрий Борисович Виноградов

***Виноградова Т.А.*[1,2], *Виноградов А.Ю.*[2]**
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле*
[2]*ООО Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», Валдай*
vinograd1950@mail.ru

Алмаз не подчиняется годам
И никогда не обратится в малость.
Дивитесь же всегда тому, что вам
Заслужено иль нет – судить не нам,
Но счастье в мире всё-таки досталось!
Э. Асадов

Аннотация: В статье рассказывается о выдающемся русском ученом-гидрологе Виноградове Юрии Борисовиче. Прослеживается его творческий путь и дается анонс его основных трудов.

Ключевые слова: гидрологи, ученые, селевой эксперимент, мировоззрение ученого

Юрий Борисович в своей профессиональной деятельности занимался многими разделами гидрологии, географии, гидрохимии, гидрогеологии и геологии, физики и математики.

Нам вряд ли удастся осветить все его многообразие профессиональных интересов, но попробовать стоит.

Гидролог Виноградов Ю.Б.

Первая монография – Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Казахстана (Виноградов, 1967). В этой работе, имеющей локальное название, Юрий Борисович пересматривал представления о формировании стока. Утверждал и доказывал, что полученные закономерности можно распространить на любые географические районы. В ней рассматриваются физические, статистические и географические закономерности формирования дождевых паводков. Предложена методика расчета осадков, инфильтрации, образования стока, паводковых гидрографов, максимальных расходов и особое внимание уделено композиционному способу построения кривых обеспеченности гидрологических характеристик.

Виноградов Ю.Б. – исследователь селевых процессов

Работа в Алма-Ате в 1964-1978 годах в должности зав. отделом селевых потоков, ему в ту пору неполных 32 года – время расцвета научной мысли, дерзаний и надежд. Вот, что вспоминает один из сотрудников отдела – Хонин Р.В.: «Под руководством человека с нестандартным мышлением, жизнерадостного, остроумного, ... в общем, с необычным для руководителя поведением, без позерства и чванства, резко оживилась научная жизнь отдела. Закончив изучение условий формирования дождевых паводков на малых водосборах, с 1966 г. отдел приступил к изучению грязекаменных потоков».

В отделе селевых потоков зародилась идея воссоздать грязекаменный поток искусственно! Не в лаборатории. Не модель. Не подобие. Такой, каким он бывает в природе. Настоящий. В природном селевом очаге. История создания селевого полигона, расположенного на высоте от 2500 до 3000 м над уровнем моря (р. Чемолган), – это три года неимоверных усилий всего отдела. Это сотни кубометров вырытого или перемещенного грунта и уложенного бетона, десятки тонн перенесенных на руках грузов. Удивительно, что силами сотрудников одного научного отдела с привлечением минимального числа сезонных рабочих в тяжелейших условиях высокогорья и бездорожья было построено сложное гидротехническое сооружение.

Наконец, в августе 1972 года все было готово к долгожданному первому эксперименту. В водохранилище было 42 тыс. $м^3$ воды. Максимальный расход водного попуска составил 16 $м^3/с$, его объем – 12 тыс. $м^3$, а максимальный расход грязекаменного потока около 110-120 $м^3/с$. Из селевого очага до створа наблюдений вынесено 32 тыс. $м^3$ рыхлых отложений. Средняя плотность селя – 2070 $кг/м^3$. Впервые многие селевики смогли увидеть процесс формирования и прохождения достаточно мощного селевого потока. Впервые же были получены четкие представления о соотношении твердого и жидкого вещества в селевом процессе, подтвердилось представление о возможности многократного превышения объема и максимального расхода сформированного грязекаменного потока над таковыми исходного водного. 22 августа 1973 года на Чемолганском селевом полигоне состоялся второй эксперимент. Было проведено три попуска воды и из селевого очага было вынесено 102 тыс. $м^3$ рыхлых пород. Максимальная, измеренная квантовым магнитометром, плотность селевой смеси достигала 2300 $кг/м^3$, средняя плотность потока – 2120 $кг/м^3$. Третий эксперимент был проведен 19 августа 1975 г. При объеме воды в водохранилище 60 тыс. $м^3$, было проведено два попуска. Грязекаменный поток 1975 г. был не только самым крупным из экспериментальных селей, но и самым зрелищным. Максимальный расход селевого потока 430 $м^3/с$, средняя плотность потока 2160 $кг/м^3$.

Виноградов Ю.Б. организовывал и принимал участие в исследовании селевых очагов и селевых явлений в Грузии, Армении, Азербайджане, Средней Азии, Западной и Восточной Сибири, Камчатке, в районе оз. Байкал, Алтае, трассе БАМ, северном Кавказе.

В дальнейшем он организовывал и сам участвовал в экспедиционных исследованиях по определению характеристик стока в бассейне р. Варзоб (на юго-западе Таджикистана), севере Якутии, на плато Путорана (бассейн р. Курейки и р. Виви), в р-не трассы БАМ, Валдайской возвышенности. Как видим, он был не только кабинетным ученым. Интересующие его процессы и явления он наблюдал и исследовал также в разных районах нашей тогда огромной страны.

Дальнейшие этапы его работ – это создание комплексной детерминированной модели формирования стока, модели «Сток-Эрозия-Загрязнение» и детерминировано-стохастической модели. Это нашло отражение и в последующих монографиях.

В монографии – «Математическое моделирование процессов формирования стока» (Виноградов, 1988) рассматривались проблемы синтеза физических детерминированных и стохастических моделей, различные стороны процесса формирования стока и структура модели гидрографа стока годового цикла, была предложена новая система трех- и четырех-параметрических функций распределения вероятностей и оригинальные способы оценки их параметров.

Затем монографии в соавторстве с Виноградовой Т.А. – «Современные проблемы гидрологии» (Виноградов и Виноградова, 2008). В ней излагались современные взгляды на гидрологию как науку, изучающую природные процессы на суше и происходящие с водой, в воде или с участием воды; входящую в цикл наук о Земле; состоящую из двух частей – фундаментальной и прикладной. Рассмотрены методологические, измерительные, экспериментальные, физические, математические, вероятностные, географические, исторические, экологические и прикладные аспекты гидрологии, а также ее основные концепции. Обсуждена главная проблема гидрологии – формирования речного стока.

Следующая совместная работа – «Математическое моделирование в гидрологии» (Виноградов и Виноградова, 2010), где были подробно рассмотрены системы современных методов изучения, анализа и математического описания процессов формирования речного стока и опасных гидрологических явлений. Рассмотрен широкий

круг вопросов – что такое моделирование и в чем его преимущество перед традиционным подходом, цели и возможности моделирования, различные классификации моделей, принципы их проектирования, содержание гидрологических моделей, режимы моделирования, его использование в методах гидрологических расчетов и прогнозов. Обсуждены особенности двух принципиально различных классов математических моделей – детерминированных и стохастических, а также целесообразность их применения в решении различных задач гидрологии. Особо отмечена перспективность детерминировано–стохастического моделирования.

«Прикладная гидрология» (Виноградов и Виноградова, 2014) вышла через два года после ухода Юрия Борисовича, в ней были систематизированы и обобщены вопросы, которые с ним обсуждались, рассмотрены методологические и экспериментальные аспекты «традиционной гидрологии» и «гидрологии нового поколения». Дана оценка состояния современной прикладной гидрологии. Обсуждались главные проблемы гидрологии – расчеты формирования речного стока и опасных гидрологических явлений. Приводились новые концепции прикладной гидрологии и затрагивались вопросы, касающиеся будущего гидрологии.

Остались еще не напечатанные его труды. Это труд, называемый условно – **Осознание гидрологии**, где им были написаны главы:

Гидрология и география – эта глава включала в себя параграфы: Что такое география? – глазами гидролога. Географические легенды о географической оболочке. О географической форме движения материи. О частных географических науках. Об особой миссии географии. О единстве физической и экономической географии. Горькая действительность и Раковая опухоль географии. Об эклектических науках. Идея географичности. Авторская интерпретация географии. Гидрология глазами географов. Географическая гидрология. Является ли гидрология географической гидрологией? Ландшафт – перекресток наук о Земле. Это не полный перечень вопросов, которые он затрагивал в этой главе.

Методологические аспекты гидрологии – (*Особый аспект*) на общем фоне бесконечного количественного и качественного разнообразия протекания процессов формирования стока неожиданно проявляется устойчивое, упорядоченное и согласованное поведение некоторых результирующих характеристик последнего; известно, что осреднение – мощное сглаживание средство. Но является ли оно единственной причиной столь явно выраженного эффекта такой устойчивости? Или же в природе существуют еще и иные действующие факторы?

Здравый смысл, воображение, интуиция. Блеск и нищета математики в гидрологии. Теория в гидрологии. Системный синдром. Наивный информационизм (рассмотрены вопросы применения в географии и других науках о Земле некоторых основ теории информации).

Вода в трех "геосферах" и особенности описания ее динамики. Существующие и несуществующие законы (Виноградов Ю.Б. отмечал, что не существуют географические и гидрологические законы, как правило, сформулированные законы представляют собой те или иные концепции или гипотезы, или же являются следствием истинных физических законов).

Ретроспектива: основные черты традиционной гидрологии – здесь затрагиваются вопросы: Взгляд в прошлое гидрологии. Основные черты традиционной гидрологии. Борьба за старую парадигму. Дилетантизм в гидрологии: переходное состояние или неизбежность? Гидрологические перспективы? Грани гидрологии. Где мы находимся? Куда мы должны идти? Что гидрологи должны знать?

Математическое моделирование в гидрологии. Часть работы вошла в монографию «Математическое моделирование». Были затронуты вопросы статистической гидрологии: нетрадиционная математическая статистика, доминирующая стохастика, понятие метрики

и проблема несмещенности. О характеристиках рассеивания и положения центра группирования. Вывод основных законов распределения. Комментарии о нормальном и лапласовом распределениях. Основная задача математической статистики в гидрологии. Проблема неоднородности данных. Некоторые крайности в стохастической гидрологии. О целесообразности использования L_1 – подхода при применении методов математической статистики в гидрологии. В частности отмечалось, что в математической статистике широко используются разного рода меры отклонения значений случайных чисел от определенных точек на числовой оси, на плоскости или в n-мерном пространстве. Функция расстояния между двумя точками какого-либо множества носит название метрики. Эта функция, например, может быть самим расстоянием (равномерная, линейная или манхеттенская метрика), квадратом расстояния (квадратичная метрика) или быть какой-нибудь другой. В зависимости от задания метрики, даже для одного и того же множества, мы попадаем в различные метрические пространства.

Если бы мы во всех наших статистических изысканиях и приложениях оставались в одном и том же метрическом пространстве, то смогли бы избежать многих осложнений, которые пришлось преодолевать, часто безуспешно, с огромными трудностями. Многие внешне привлекательные стороны (в основном ложные удобства при математических манипуляциях и выкладках) свободного выбора метрик при размещении конкретных статистических задач заслонили принципиальную сущность творимого «беззакония». Результаты всем известны, хотя, судя по всему, и не до конца осознаны. В целом это появление некоторой неизбежности систематической нестыковки и нечеткости при взаимодействии эмпирических и аналитических статистических структур и многое другое. В частности, например, немедленно возникают проблемы, если статистики, полученные в рамках одной метрики, подвергают проверке на несмещенность с помощью критерия, связанного с другой метрикой. В подавляющем большинстве работ по математической статистике, мы не говорим уже о стохастической гидрологии, упоминается единственный критерий несмещенности: математическое ожидание оценки параметра должно быть равно самому параметру («классический» вариант). Однако, возможны и другие критерии. Итак, если метрика линейная (равномерная) т.е. $L_1 = |Q_1 - Q_2|$, то медиана несмещенной оценки должна быть равна оцениваемому параметру (медианная несмещенность); если метрика квадратичная, т.е. $L_2 = |Q_1 - Q_2|^2$, то среднее квадратичное несмещенной оценки должно быть равно оцениваемому параметру (средняя квадратичная несмещенность). Возникает естественный вопрос: какой метрики и в каких случаях следует придерживаться? Существуют ли для этого какие-либо жесткие условия или рекомендации? В качестве неких общепринятых правил, они видимо так и не сформулированы. Многочисленные решения сходных задач одновременно на базе и L_1,. L_2 и других подходов – лишнее свидетельство этому.

В разделе формирование стока в бассейне более подробно, чем в книге «Математическое моделирование» рассматривался вопрос *инфильтрации и формирования поверхностного стока* (напорная инфильтрация, ошибочность применения кривых инфильтрации, инфильтрация в процессе поверхностного стокообразования, поверхностное задержание, формирование склонового стока).

В заключительном комментарии к этой главе, Виноградов Ю.Б. писал, что истинный гидролог, одинаково свободно должен ориентироваться в физико-гидрологических и стохастических аспектах своей науки. И первые должны доминировать, ибо математическая статистика принадлежит всем, а гидрология только гидрологам.

Экологическая ориентация гидрологии – здесь Юрий Борисович отмечал, что это должна быть новая междисциплинарная наука, новая не по содержанию проблем и

вопросов, а по способам их решения. Это должна быть наука, в основе которой лежит идея организованного целенаправленного взаимодействия всего цикла наук о Земле. Это должна быть «прикладная координационная наука», которая может привести в согласованное сочетание методы и выводы ряда отраслевых (частных) наук в процессе решения крупнейшей комплексной жизненно важной для человечества проблемы – охраны окружающей среды. С точки зрения влияния окружающей среды на человека и человека на окружающую среду, во всей сложности, неизбежности, красоте и жестокости прямых и обратных связей. Для решения одной из важных проблем: загрязнения бассейна реки была предложена моделирующая система "TRIVIUM". Модель «ЭКОСИСТЕМА» – «ГЕОХИМИЯ» – «СТОК–ЭРОЗИЯ–ЗАГРЯЗНЕНИЕ». Модель «ЭКОСИСТЕМА» должна воспринимать непрерывный поток информации из двух других элементов триады – о температуре и влажности воздуха, осадках, температуре и влажности почвы, а также ее фазового состояния, о присутствии загрязнителей на поверхности земли, в почвенных водах и в адсорбированном состоянии в почве (из модели "СТОК–ЭРОЗИЯ–ЗАГРЯЗНЕНИЕ"), о химической расшифровке сущности загрязнителей, токсической нагрузке, концентрации мигрирующих в пределах ландшафта химических элементов (из модели "ГЕОХИМИЯ").

В дальнейшем модель "СТОК–ЭРОЗИЯ–ЗАГРЯЗНЕНИЕ" была подробно описана и реализована на природных объектах (Виноградов и Виноградова, 1998).

Мыслитель Виноградов Ю.Б.

И последний труд Юрия Борисовича – «О нашем мировоззрении». Эта книга, как не какая другая, показывает многранность его интересов (Виноградов, 2015).

В книге рассматривались следующие вопросы: **Библейская история о Сотворении мира и человека.** Эта глава включала – общественный канонический вариант и его немногословие; апокрифические подробности (историческая и географическая обстановка передачи информации людям, повествование о Творении мира и человека).

Современные научные воззрения. Здесь рассматривались вопросы – что такое наша наука? Космологические построения (краткое введение в проблему, мозаика взглядов, феномен Стивена Хокинга, научно-поэтический гимн Вселенной); размышления о возникновении и эволюции жизни; парадоксы геохронометрии.

Третья глава – **О сосуществовании Богословия и науки.** Включала в себя – проблему времени и хронологии (о Днях Творения; о двух специфических взглядах на Дни Творения; примеры воздействия науки на Богословие; операция «Мнимое время» (в этом параграфе приводятся физические и математические построения Ричарда Фейнмана, которые нашли своё очень значимое место в квантовой механике и, следовательно, в космологии. Имеется в виду его впечатляющий вклад в эти две, по сути дела, очень родственные науки, а именно метод суммирования по всем возможным траекториям частиц в пространстве-времени, что отождествляется с суммированием по «историям Вселенной»).

Четвертая глава – **Возможность прямого совмещения Богословия и науки.** В ней – некоторые привходящие обстоятельства; наука в согласии с Библией; первая попытка?

Особо Юрий Борисович рассматривал спектр представлений о взаимодействии Науки и Религии, который стал недопустимо широким. Он призывал поразмыслить и задаться очень непростым вопросом – что же всё-таки происходит в такой сложной, деликатной и до конца мало кем понятой проблеме взаимодействия науки и религии. С одной стороны, они вроде бы существуют независимо и сами по себе. С другой, они с различных позиций рассматривают один и тот же мир. И что лучше – полная отрешённость друг от друга или всё-таки, в пределах возможного, – согласованность. Ответ: конечно же, согласованность. Но не любой же ценой! А это означает, что эти два достояния человеческого духа и разума по большому счёту должны быть совмещены в некое единство, о котором мы пока

можем только мечтать. Но если это так, то мы должны, не откладывая, немедленно искать подступы к решению этой сверхзадачи.

Он отмечал, что Богословы по сравнению с учёным миром оказались куда более восприимчивыми к влиянию достижений последнего, независимо от степени достоверности его теорий и моделей. Тут конечно определённую роль играет не столько положение вещей в науке вообще, сколько именно в проблеме достоверности выводов в основах двух наук – космологии и эволюции жизни. Причём всё это осложняется излишней доверчивостью и увлечённостью некоторых Богословов.

Основными условностями, так и оставшимися по-настоящему до сих пор бездоказательными и вряд ли оправданными, являются следующие (со стороны учёного мира):

теория Большого Взрыва, многие миллиардолетия длительности существования Вселенной после последнего и другие вопросы и проблемы, связанные с двумя уже названными;

предположение о самоорганизации жизни и тоже необходимых для этого миллиардолетий.

Со стороны некоторых Богословов:

включение в картину Сотворения Мира не всегда достоверных результатов и достижений космологов и эволюционеров;

недостаточные критичность и тщательность рассуждений по отношению к получаемым со стороны некоторым научным крайностям.

В книге были высказаны следующие пожелания в адрес всех тех, кто, так или иначе, участвует в становлении общего научно-религиозного взгляда на наше Мироздание, его происхождение и функционирование.

Подробнее исследовать всё, что касается теории Большого Взрыва, особенно в плане обстоятельств и особенностей существования того таинственного объекта, который в конце концов претерпел далеко не стандартную взрывную катастрофу.

Рассмотреть альтернативные Большому Взрыву взгляды на сущность и происхождение Вселенной.

Всесторонне пересмотреть вопрос о возрасте Вселенной, не попадая под гипноз миллиардолетий.

Подняться на другой уровень рассмотрения и доказательности зарождения жизни и, если это окажется невозможным, принять иную версию происхождения Жизни и Человека.

Он отмечал, что если при анализе одного и того же явления или события мы сталкиваемся с совершенно различными их толкованиями со стороны религии и науки, то мы обязаны такие случаи выделять и делать их достоянием глубокого обсуждения, причём чем с большим числом спорящих с обеих сторон, тем лучше. Такие споры могут помочь быстрее придти к единому мнению или, в крайнем случае, обоснованно оставить спорную проблему до лучших времён.

Заключение. В этой статье нам хотелось показать, что настоящий ученый – это всегда большой кругозор, как по широте, так и по глубине его интересов.

Юрий Борисович Виноградов занимался прикладной гидрологией и прекрасно знал, как организовать сложный эксперимент (первый в мире) по воспроизведению искусственных селей. На основе этого эксперимента, написана целая серия статей, каким образом обрабатывать и исследовать полученные результаты. Также им были организованы уникальные исследования в Западной и Восточной Сибири, в Средней Азии по определению параметров для расчетов формирования стока.

Разработана и апробирована на многих объектах как на территории России и мира, комплексная модель формирования стока.

Создана современная динамико-стохастическая модель, на которой успешно проведены расчеты в бассейнах Волги и на Черноморских бассейнах.

Разработана модель "СТОК–ЭРОЗИЯ–ЗАГРЯЗНЕНИЕ", которая прошла испытание на полигонах «Нарьян-Мар» и «Койда».

Разработаны и успешно используются модели расчета селевых потоков (транспортного и транспортно-сдвигового движения селей).

Разработана и используется модель прорыва водоема (Виноградов, 1977).

Написана книга; мировоззрение, как система взглядов на природу и человечество. Где рассматривалось Мировоззрение тех, кто посвятил себя науке, кто неизбежно включает в себя не только организованные научные знания, но и духовное, нравственное, этическое и эстетическое отношение к этим знаниям и к окружающему Миру.

Список литературы

Виноградов Ю.Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана// Труды КазНИГМИ, вып.28, 1967.

Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока//Л.: Гидрометеоиздат, 1988.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии// М. «Академия», 2008.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии// М., «Академия», 2010.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Прикладная гидрология// СпБГЛТУ, 2014.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование динамики загрязнения в бассейнах рек арктической зоны России// Метеорология и Гидрология, №4, 1998.

Виноградов Ю.Б. О нашем мировоззрении // Лема, 2015.

Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки// Гидрометеоиздат, 1977.

Many-sided Yuri Borisovich Vinogradov

Vinogradova T. A.[1,2], Vinogradov A. Yu.[2]

[1]St. Petersburg University, Institute of Earth Sciences

[2] Scientific-production Association "Gidrotekhproekt", Valday

vinograd1950@mail.ru

Abstract: The article describes the outstanding Russian scientist-hydrologist Vinogradov Yuri Borisovich. We follow the traces of his creative path and announce his main scientific works.

Keywords: hydrologists, scientists, debris flow experiment, worldview of a scientist

Юрий Борисович и грозящая катастрофа гидрологического знания: надо ли с чем-нибудь бороться?

Болгов М.В.
Институт водных проблем РАН, Москва
bolgovmv@mail.ru

Подзаголовок: Можно ли развиваться (не) боясь моделировать?

Тезисы доклада как темы для дискуссии.

Есть ли объект у гидрологии суши в отличие от гидравлики, гидродинамики и как он выглядит?

Что делать с гипотезой плоско-параллельного стекания?Является ли гидрологическое знание естественным или техническим?

Не есть ли гидрология всего лишь набор методов решения прикладных задач?

Что есть проблема в гидрологии?

Существует ли водное право?

Математические представления - это язык гидрологии или гидрология жертва математизации?

Был ли содержательный итог дискуссии о статистических и генетических методах в гидрологии?

Гидрологические экстремумы – это катализатор науки или ее бесславный итог?

Предсказуемо ли будущее водных ресурсов? Прогнозы – это шаманизм или агностицизм?

Можно ли жить (оценивать, прогнозировать, моделировать) без мониторинга и подгонки?

Чему и как учить (учить и учить) молодое поколение: учит ли чему-нибудь чужой опыт?

Yury Vinogradov and the impending catastrophe of hydrological knowledge: should we fight something?

Bolgov M.V.
Water Problems Institute, RAS, Moscow
bolgovmv@mail.ru

Секция 1
На грани фазовых переходов

Session 1
Snow and permafrost hydrology

Исследования особенностей устьев на архипелагах российской Арктики

Айбулатов Д.Н., Школьный Д.И., Максаков Н.А.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
gidroden@mail.ru

Аннотация: В результате выработанного комплексного подхода к классификации специфических видов и форм характерных для полярных территорий устьевых областей проведена типизация 400 учтенных в базе устьевых областей по 6 типам – простой, эстуарной, эстуарно-дельтовой, лагунно-дельтовой, дельтовой и озерно-дельтовой. Описаны гидрологические и геоморфологические особенности устьевых областей данных типов, характерные особенности процессов формирования устьевых областей на каждом из архипелагов. Произведена оценка современных темпов выдвижения дельт на основании сравнения данных ДЗЗ за период с 1967 года по настоящее время. На основе регрессионного анализа была проведена оценка влияния различных морфометрических параметров бассейнов рек на геометрические особенности дельт.

Ключевые слова: Арктика, устья рек, дельты, эстуарии, типизация

Введение

В связи со значительным увеличением интереса к освоению Арктики в последнее время, а также потеплением климата и таянием морских льдов и покровных ледников в этом регионе возникает необходимость изучения гидролого-морфологических процессов на водных объектах арктических островов. При этом наибольший интерес вызывают устья рек, выполняющие роль маргинального фильтра на участках взаимодействия речных и морских вод. Именно здесь виден результат гидрологических процессов (формирование стока воды и наносов), происходящих на водосборах рек, впадающих в приемные водоемы, конечным проявлением которых становятся различные по интенсивности и направленности процессы дельтообразования в устьевых областях рек. Работа направлена на решение фундаментальной проблемы устьевой гидрологии и русловедения, связанной с исследованием деформационных процессов в низовьях рек, определяющих эволюцию устьевых областей. Вследствие разнонаправленных и различных по своим объемам устьевых процессов создается уникальный гидрологический, ландшафтный и биологический облик каждой устьевой области, вне зависимости от их размера. Синкретическое формирование побережий Арктики, в том числе берегов устьевых областей, приводит к сложной комбинации факторов, влияющих на формы эстуариев и процессы дельтообразования.

Главной целью данной работы является внедрение принципов гидролого-морфологического подхода к изучению и мониторингу устьевых областей рек островов Российской Арктики, определение их современного состояния и разработка прогнозных оценок их развития в условиях глобального изменения окружающей природной среды. К настоящему времени водные объекты арктических островов практически не изучены. На них, за редким исключением, не проводилось полноценных гидрологических работ. Также не существует литературных обобщений, посвященных региональным гидрологическим закономерностям.

Материалы и методы

Для работы использовался созданный авторами каталог устьев рек и водотоков архипелагов Российской Арктики (Новой Земли, Северной Земли, Новосибирских островов), содержащий для каждого водного объекта информацию о характеристиках

водосбора и взморья и картографический материал (топографических карт Госгисцентра РФ 2001 года издания масштабов 1:50000 и 1:200000) и космические снимки высокого разрешения (KH-9, Quickbird, Geoeye, Spot, Landsat и др.) на устьевые области. Для классификации устьев были применены основные используемые в отечественной литературе классификации устьевых областей – за авторством В.Н.Михайлова (Михайлов, 1998) и его же совместно с Гориным С.Л. (Михайлов и др., 2012). Однако, малые площади водосборов рек и отсутствие данных о процессах смешения морских и речных вод не позволяют полноценно применить для них классификационные подходы, описанные в работе, в связи с чем с учетом геоморфологических особенностей устьевых областей классификация была адаптирована для исследуемых объектов (Школьный и др., 2016).

Результаты

Устьевые области по результатам типизации были подразделены по следующим типам.

Тип 1 (76 объектов) – простая устьевая область (с открытым бездельтовым устьем). Устья данного типа распространены в арктической зоне повсеместно и приурочены к небольшим ручьям и рекам (с минимальным объемом стока воды и, следовательно, незначительными эрозионной способностью и объемом выносимого вещества); к водотокам, чей сток зарегулирован озерами (колебания водности недостаточно значительны, а большая часть наносов бассейнового происхождения перехватывается водоемами); к водотокам с устьями на участках взморья с активно действующими вдольбереговыми течениями, что приводит к перераспределению выносимого материала по побережью и формированию из него береговых аккумулятивных форм (пляжей, валов и т.д.); к водотокам, имеющим высокие уклоны русла в устьевой области или протекающих по устойчивым к размыву породам.

Тип 2 – эстуарная устьевая область (с полузакрытым бездельтовым устьем), к нему относятся 23 объекта со значительным разбросом в морфометрии бассейнов. Для водотоков с этим типом устьевой области характерны такие признаки, как: недостаточная водность; небольшой эрозионный потенциал водосбора (характерный для пологих тундровых участков островов); формирование устья по тектоническим разломам; значительный масштаб приливного воздействия, который приводит к невозможности формирования дельты даже на крупных водотоках (р.Лиственничная, Южный остров Новой Земли). Примером может служить текущая по линеаментам река Юнко (Новая Земля), имеющая небольшую среднюю высоту водосбора при большой его площади, или р. Улахан-Сохолох (Новосибирские острова), текущая по приморской болотистой термокарстовой равнине.

Тип 3 – эстуарно-дельтовая устьевая область (с полузакрытым устьем с дельтой выполнения фьорда или долинного залива, к нему относятся 73 устья (в том числе 26 с фьордовой многорукавной УО и 47 с эстуарной многорукавной УО). Устья этого типа характеризуются большим разнообразием форм взаимодействия приемного водоема и непосредственно устья реки. Вследствие большого разнообразия географических особенностей арктических островов, устья данного типа имеют эстуарии, весьма различные по своей форме, размерам и особенностям. Крупнейшие из них представляют собой долинные заливы, в вершинах которых формируются дельты. В целом, в силу масштабов территории часто размеры дельт и устьев рек несопоставимы с размерами эстуариев – заливов, губ, а также форма этих частей приемного водоема может быть крайне разнообразной. Устья данного типа встречаются только там, где имеются определенные геологические предпосылки – ведь в силу малых размеров водотоков представляется абсурдным относить к устьевым областям таких рек заливы и губы, зачастую несопоставимые (превосходящие по размерам) даже с водосборной площадью данного водотока. В устьевых же областях более крупных рек, переносящих значительные объемы материала, формируются аккумулятивные формы, и устье становится закрытым.

Обзор устьев арктических островов позволил дополнительно выделить в качестве отдельного подтипа фьордовые многорукавные устья. Подобные устья формируются на островах со значительной площадью, покрытой ледниками территории, в ходе отступания которых экзарационными и гравитационными процессами были сформированы узкие и глубокие долины фьордового типа. Формирование этого типа зависят от геологического возраста долины и геоморфологических особенностей участка (Геология СССР, 1970). Активное таяние ледниковых массивов арктических островов, характерное для современной фазы климатического цикла, приводит к формированию потоков, несущих значительное количество взвешенных наносов. В зависимости от современного состояния оледенения на некоторых участках язык ледника располагается на значительном удалении от моря, в результате чего сформировавшийся за время отступания выработанный продольный профиль реки приводит к переносу большей части вещества в направлении морского края дельты и его отложению там. Такие устья представляют собой узкие и глубокие заливы, в вершинах которых находится заполненная плоская дельтовая равнина различных размеров. На отдельных водотоках расстояние от вершины дельты до ее морского края может достигать нескольких десятков километров, составляя более 50% от общей длины реки (р. Степового и р. Митюшиха на Новой Земле). В вершинах некоторых фьордов Новой Земли и Северной Земли до сих пор расположены непосредственно языки выводных ледников. В таком случае формируется либо дельта, состоящая из продуктов перемыва конечной морены и постоянно меняющая свою конфигурацию, либо выполнение происходит по бокам отступающего ледника между его телом и бортами долины.

Тип 4 (82 объекта) – лагунно-дельтовая устьевая область (с закрытым устьем и дельтой выполнения устьевой лагуны). Этот тип широко встречается на исследуемых островах, что связано с большим количеством способствующих его формированию факторов в арктической зоне – в первую очередь, вертикальными движениями земной коры и циклами колебания уровня моря. В результате многовекового действия этих процессов, а также воздействия волнового фактора и вдольберегового переноса выносимых реками наносов и продуктов разрушения берегов во многих вдающихся вглубь суши неглубоких заливах формируются отгораживающие их аккумулятивные формы. В зависимости от размера водотока, в роли лагун могут выступать как небольшие затопленные при ингрессии моря участки долин небольшой площади (р.Диринг-Аян, о.Котельный), так и ограниченные крупными аккумулятивными песчано-галечными формами участки моря площадью до нескольких сотен км^2 (р.Балыктах, о.Котельный). В условиях ограниченного влияния приливов на внутренние части данных лагун, в них формируются дельты различных размеров, и происходит их постепенное выполнение поступающим материалом. Изредка лагуны представляют собой отделенные береговым валом узкие протяженные водоемы.

Тип 5 – дельтовые устьевые области, к данному типу относятся 122 крайне разнообразных объекта, среди которых выделено три основных подтипа. Большая часть дельт арктических островов имеет лопастную форму, сеть водотоков в них крайне редка по отношению к площади дельты, а уклоны дельтового тела, скорее всего, высоки. Это связано с залповым поступлением материала в короткий летний период с повышенным стоком, в результате чего на поверхности дельты формируются отдельные шлейфы выноса. Размыв и переотложение приносимого материала и определяет количественные и структурные особенности сети дельтовых водотоков. Однако, отдельные дельты (рр. Шумилиха, Чиракина, Посадочная, Многоструйная и др.), являющиеся продолжением широких долин рек с ледниковым питанием и неустойчивым, зачастую блуждающим многорукавным руслом, имеют густую сеть водотоков, при этом концентрирующуюся

преимущественно в одном из секторов дельтового тела. Дельтовые многорукавные устья (открытые с дельтой выдвижения, 52 штуки) в основном приурочены к крупнейшим рекам островов, однако отмечено их формирование и на небольших реках в суровых климатических условиях, где, несмотря на короткий период состояния открытого русла у реки, количество наносов превосходит транспортирующую способность вдольбереговых потоков и откладывается на взморье, выходя за генеральную линию побережья. На Новосибирских островах, где скорости поднятия максимальные, зачастую тело дельт выдвижения представляет собой поднятый на дневную поверхность субаквальный массив дельты, становящийся продолжением ее долины. Отдельные дельты выдвижения, формирующиеся на бортах фьордов, имеют значительно меньшую скорость роста, чем многорукавные дельты выполнения впадающей в его вершинной части реки. Со временем их тела входят в состав дельты выполнения, и процесс дельтоформирования прекращается, а водотоки становятся притоками основной реки. Многорукавные устья с устьевым баром на взморье, или дельты полного выполнения (25 штук) представляют собой многорукавные устья с устьевым баром на взморье, возникающие при полном выполнении устьевой лагуны или долинного залива при существовании ограничивающего фактора, препятствующего их дальнейшему развитию. При сохраняющемся поступлении наносов данные дельты формируют комплекс устьевых баров, в пределах которого в зависимости от условий на взморье в будущем может произойти дальнейшее формирование тела выдвижения. Многорукавные устья, блокированные береговой формой (открытые устья с внутренними дельтами, 45 штук) имеют единственную соединяющую их с морем протоку прорывного происхождения. Подобный тип характерен для небольших водотоков со значительной средней высотой водосбора и большим его эрозионным потенциалом, специфические формы подобного типа встречаются в заливах с резко отступающими ледниками, где в ходе процесса отступания часть приемного водоема перекрывается эродированными остатками боковых морен и активно заполняется поступающими наносами.

Тип 6 – специфический тип закрытых устьев с дельтой выдвижения в водоем, имеющий слабую связь с морем, может быть охарактеризован как «озерные» дельты. Такие устья представляют собой эстуарии со сложной геометрией связи с морем. Крупнейшие из таких эстуариев состоят из цепочек котловин, соединенных крупными протоками и имеющих узкое и длинное горло. В силу своеобразности их формы морская вода не может глубоко проникать с приливами и нагонами в данные водоемы, и заполнение их морской водой в лучшем случае происходит только в период минимального стока или его отсутствия. Формирование дельт в распресненных водоемах происходит в иных условиях, чем на открытом взморье, что приводит к формированию уникальных объектов. Например, дельту реки Гольцовой и горловину ее эстуария, представляющего собой залив сложной конфигурации, разделяет около 35 километров, что сопоставимо с длиной самой реки. Река Саханина впадает в озеровидный эстуарий со сложным режимом, формируя в нем достаточно крупную дельту в условиях приливного цикла и реверсивных течений в горловине эстуария, обеспечивающих постоянные колебания уровня высотой до 1 м (по данным разновременных космических снимков). Крупнейшая река Северной Земли, р.Ушакова, впадает в бухту Красную – морской залив, блокированный от открытого моря выводным ледником. Однако, ледник не покоится на дне залива, в связи с чем между ним и открытым морем существует активный водообмен, проявляющийся в колебаниях уровня водоема. В описанных условиях рекой сформирована крупная дельта.

Для проведения факторного анализа для всех рек с наличием дельт были определены основные морфометрические характеристики водосборов – его площадь, средняя высота и средневзвешенный уклон, а также доля оледенения от площади водосбора и уклон взморья. Был проведен регрессионный анализ и построены графики зависимостей, в

которых зависимой переменной выступала площадь дельты, а факторами – морфометрические параметры водосборов. Регрессионный анализ как для всей исследуемой территории, так и для отдельных архипелагов не дал приемлемых результатов. Показатель множественной корреляции не превышал 0.55, а критический показатель значимости фактора не был превышен только для площади водосбора и уклона взморья. При этом при рассмотрении графиков данных зависимостей можно наблюдать группировку отдельных типов устьев в пределах общих скоплений, что позволяет говорить о значимости отдельных факторов для формирования устьев определенного типа.

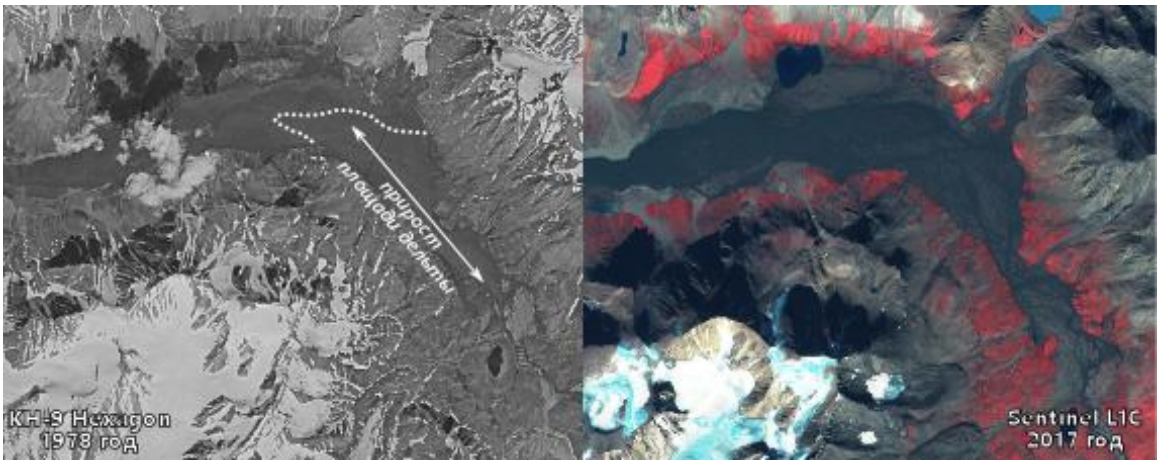


Рис. 1 Эволюция устьевой области р.Крестовая (Северный остров, арх.Новая Земля)

Для опорных устьевых областей были проанализированы рассекреченные спутниковые снимки разведывательной программы ВВС США KeyHole (KH-4 Corona и KH-9 Hexagon) с охватом 1960-70 годов, и современные снимки с аппарата Sentinel-2, что дало возможность провести ретроспективный анализ изменения положения морского края дельты для самого динамичного типа устьев – эстуарно-дельтовых с фьордовой многорукавностью за период 40-55 лет. Было выявлено, что на отдельных устьях рек Новой Земли, морской край дельты выдвинулся на 100-150 метров (реки б/н в бухте Тыртова, Белушьей губе пролива Маточкин Шар, р.Миллера в заливе Семенова). Выявлены участки, где за рассматриваемый период произошло значительное отступание выводных ледников и отмечается формирование дельт выдвижения на ранее занятой ледником акватории (например, в заливе Медвежий и бухте Южная Сульменева). Значительные изменения наблюдаются для дельт озерного типа, расположенных в оледененных частях архипелага – отмечено формирование новых аллювиальных форм по оси заполнения водоемов. Максимальные изменения (до 400-500 метров за рассматриваемый период между крайними аллювиальными формами) наблюдаются в вершинах губы Крестовой (река Митюшиха), бухты Гольцовой, залива Басова (рис.1). На отдельных устьях лагунно-дельтового типа и с дельтами полного выполнения отмечено смещение устьевых баров и кос на 10-15 метров в сторону устьевого взморья. В то же время, отдельные фьордовые устья (напр., в заливах Степового и Литке) не показали дешифрируемого роста, а на некоторых даже наблюдается уменьшение площади (напр., в бухте Ануфриева залива Шуберта), что может быть связано с ориентацией заливов и характером приливного воздействия.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 17-05-00902.

Список литературы

Геология СССР. Том XXVI. Острова Советской Арктики. Геологическое описание. // Под ред. Б.В. Ткаченко, Б.Х. Егиазарова. М.: Недра, 1970. - 548 с.

Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. — 176 с.

Михайлов В.Н., Горин С.Л. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей — эстуариев // Водные ресурсы, Т. 39, № 3, 2012: 243-257.

Школьный Д.И., Айбулатов Д.Н. Типизация устьевых областей рек острова Южный (архипелаг Новая Земля) // Вестник Московского университета. Серия 5. География, №6, 2016: 1-22.

Studies of the features of the river mouths on the archipelagoes of the Russian Arctic

Aibulatov D.N.*, *Shkolniy D.I.*, *Maksakov N.A.
Moscow State University, Moscow
gidroden@mail.ru

Abstract: As a result of the elaborated complex approach to the classification of specific species and forms which are characteristic for the polar territories of the estuary regions, a typification of 400 objects considered in the estuarine base was carried out in 6 types - simple, estuarine, estuarine-deltaic, lagoon-deltaic, deltaic and lacustrine-deltaic. Hydrological and geomorphological features of the mouth areas of these types, characteristic features of the formation of mouth areas on each of the archipelagos are described. An assessment was made of the current rates of deltas progradation on the basis of comparison of remote sensing data for the period from 1967 to the present. Based on the regression analysis, the effect of various morphometric parameters of river basins on the delta geometric features was evaluated.

Keywords: Arctic, estuary, delta, estuary, typification

Оценка факторов формирования стока наносов высокогорного ледникового бассейна (на примере горно-ледникового бассейна Джанкуат, Центральный Кавказ)

***Базилова В.О.*, Чалов С.Р., Цыпленков А.С.**
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова
varyabazilova@gmail.com

Аннотация: Формирование стока наносов на горных реках – сложный многофакторный процесс. Изменение природной среды, важнейшая роль таяния ледников в бассейне Терека определяет актуальность исследования эрозионно-аккумулятивных процессов и особенностей формирования стока наносов. Исследование стока наносов в горных районах осложняется внутрисуточными колебаниями гидрологических характеристик, а также кратковременными колебаниями значений расхода воды, вызванных различными синоптическими событиями, что определяет необходимость использования мониторинговых и расчетных методов с использованием Универсального Уравнения Эрозии Почв (USLE) и его модифицированных версий. Целью исследования, основанном на данных мониторинговых наблюдений в горно-ледниковом бассейне Джанкуат, является количественная и качественная оценка стока наносов реки с ледниковым водосбором, а также локализация очагов формирования твердого стока с гидрологической и геоморфологической точек зрения. Рассматриваются как взвешенные, так и влекомые наносы.

Ключевые слова: наносы, эрозионное моделирование, Центральный Кавказ, Джанкуат, ледниковый водосбор

Введение

Формирование стока наносов на горных реках определяется большим количеством факторов. Объем стока наносов и его режим зависит от процессов, происходящих на водосборе (таких, как обвалы и сели), абляции ледников и режима русловых процессов, интенсивность и направленность которых имеет выраженный суточный и сезонный ритм в зависимости от величины ледникового стока, а также режима выпадения осадков.

Объект исследования - водосборный бассейн реки Джанкуат. Несмотря на то, что комплексный мониторинг рассматриваемой территории ведется уже более 50 лет, сток наносов не исследовался.

Материалы и методы

Исходными данными для работы являются результаты полевых гидрометеорологических измерений 2015 и 2016 годов. А также имеющиеся картографические материалы и результаты исследований ландшафтных комплексов. Мониторинговые наблюдения в горно-ледниковом бассейне Джанкуат проводятся в течение летнего периода (июнь-сентябрь). Была создана база данных, включающая в себя метеорологические наблюдения: измерения температуры воздуха, осадков и гидрологические наблюдения: измерения расходов и мутности воды. Данные были приведены к единому временному разрешению при помощи линейной интерполяции (программный код на языке R), соответствующему гидрологическим срокам измерений.

Для определения генезиса наносов водосбор был разделен на части, соответствующие различным типам подстилающей поверхности. Соответственно, используется уравнение баланса наносов, записанное в следующем виде:

$$W = W_{\text{ледн}} + W_{\text{басс}} + W_{\text{русл}} W = W_{\text{ледн}} + W_{\text{басс}} + W_{\text{русл}} \quad (1)$$

где: W −общий сток наносов, $W_{ледн}$ − сток наносов с ледниковой части бассейна, $W_{басс}$ − сток наносов с неледниковй части бассейна (бассейновая составляющая), $W_{русл}$ − эрозия в русле.

Для определения доли вклада бассейновой составляющей в общий сток наносов был разработан алгоритм эрозионного моделирования. Для было использовано Модифицированное Уравнение Потерь Почвы (MUSLE). Такая модель была разработана в США на основе Универсального Уравнения Потерь Почвы (USLE) (Wischmeier, Smith, 1978) и позволяет оценить пространственную локализацию источников наносов, а также пространственное распространение потенциальной эрозии во время дождевого паводка на рассматриваемом водосборе. MUSLE основано на решении следующего уравнения:

$$Y = 11.8 * (h * Q_{max})^{0.56} * K * L * S * C \quad (2)$$

где: Y − смыв почвы (т/га), h − слой дождевого стока, Q_{max} − максимальный расход воды (м3/с), K − фактор эродируемости почв, LS – фактор рельефа (длина и уклон склона), C − фактор землепользования (тип растительности).

Оценка слоя дождевого стока и максимального расхода воды во время паводка проводилась на основе данных, полученных во время гидрометеорологических наблюдений. Оценка фактора LS – на основе цифровой модели рельефа с пространственным разрешением 5 м, K и C – на основе ландшафтной карты горно-ледникового бассейна Джанкуат, единого государственного реестра почвенных ресурсов и «Национальной базы типов ландшафтов США» (NLCD) (Fry et al., 2011).

Оценка русловой составляющей баланса стока наносов проводится в работе на основе определения транспортирующей способности потока на основе модели Россинского-Кузьмина (Россинский, Кузьмин, 1964), и сопоставления ее с фактическим расходом наносов:

$$R_{тр} = Q * 0.024 * ({}^{v^3}/_{h * u}) \quad (3)$$

где: $R_{тр}$ – транспортирующая способность потока, Q – расход воды (м3/с), u – гидравлическая крупность наносов (м/с), v – скорость потока (м/с), h – глубина (м).

Перечисленные методы были использованы для оценки различных составляющих баланса стока наносов. Оценка ледниковой составляющей стока наносов определялась по разности всех вычисленных величин.

Результаты

Общий объем стока наносов: в 2015 году составил 10 077 т (из которых взвешенные наносы – 8374 т, влекомые – 1703 т), 2016 – 8413 т (взвешенные – 7372 т, влекомые – 1040 т). Отличие стока взвешенных наносов 2015 и 2016 гг. составило 17% при изменении стока воды на 18%.

На основе анализа эмпирических рядов наблюдений и графического расчленения седиграфа, позволяющего определить преобладающий источник поступления наносов, было выделено 21 краткосрочный период повышенной водности и мутности воды, продолжительностью от одного до нескольких дней. Вклад выделенных событий, паводков, в общий сток составляет от 0,7 до 4,83%. Вклад в общий сток наносов изменяется от 0,4 до 17,6 % от общего объема твердого стока. Исключение составляет событие 30.6.2015 – катастрофический сель, изменивший положение русла притока реки Джанкуат, ручья Койавган.

Для каждого паводка был рассчитан сток наносов, доля его вклада в общий сток, сумма осадков за период паводка. Определен генезис и связь хронологического изменения значений S (мутности воды) и Q (расхода воды), получены регрессионные модели мутности воды при включении в качестве предикторов в модель различных гидрометеорологических параметров. Использовалось уравнение линейной или множественной линейной регрессии. Для включения в модель предикторов критерием служил коэффициент корреляции r>0.7. Для этого были построены корреляционные

матрицы, показывающие связь различных параметров между собой. Наличие предикторов со статистически достоверным коэффициентом корреляции наблюдается не для всех выделенных паводков. Основными параметрами, определяющими мутность воды, оказались водность реки и осадки. При увеличении расхода происходит увеличение скоростей потока, а также уровня воды, что вызывает русловую эрозию и размыв берегов.

Температура воздуха, как и солнечная радиация, поступающая на поверхность ледника в ясные дни, определяет таяние ледника Джанкуат и является одним из основных предикторов для увеличения водности и, соответственно, увеличения значений мутности воды.

Из-за различного генезиса наносов, поступающих с водосбора реки Джанкуат в русловую сеть, а также из-за разных факторов, определяющих мутность воды и сток наносов в течение каждого выделенного периода регрессионные модели отражают только общий ход мутности, значения мутности воды воспроизводятся плохо.

Температура воздуха, косвенно влияющая на таяние ледника и смыв наносов с ледниковой части водосбора не является основным предиктором из-за разных синоптических условий в течение всех выделенных периодов.

Для определения генезиса каждого выделенного периода повышенной водности, а также генезиса наносов, поступающих в русловую сеть в этот период для каждого паводка была построена хронологическая зависимость мутности воды S от расхода воды Q, а также совмещенные седиграф и гидрограф. По классификации Н.И. Алексеевского, все «паводки» относятся к III и IV типам. События типа III (IIIа, IIIб, IIIе, IIIд) имеют неоднозначную связь значений S при Q=const. Такие явления возникают из-за быстрого изменения условий формирование стока воды и стока наносов на малых водосборах (Алексеевский, 1998). Исключением из этого правила являются гидрологические события, вклад которых в общий сток наносов составляет >7%. Для них характерна связь типа IV (IVд, «восьмерка»).

Измерения влекомых наносов, проведенные в течение летнего периода 2016 года, позволяют определить сток влекомых наносов по соотношению расхода взвешенных и влекомых наносов.

Среднее отношение расхода взвешенных наносов R к расходу влекомых наносов G составляет 17,3. При этом, средняя доля взвешенных наосов в общем стоке наносов составляет 87%. Синхронное измерение влекомых наносов в створе Гляциологической станции МГУ и в 1 километре ниже по течению позволили оценить аккумуляцию влекомых наносов на относительно выравненной поверхности долинного зандра ниже гидрологического поста.

Согласно расчётам, проведенным с использованием MUSLE, Вклад бассейновой составляющей стока наносов составляет от 0,021 до 0,4 % от общего объема твердого стока.

Основным источником поступления материала в русловую сеть в горно-ледниковом бассейне Джанкуат являются моренные отложения, расположенные на правом и левом бортах долины. Также прослеживаются русла и эрозионные врезы в северной части водосбора. Здесь расположены многочисленные ручьи, берущие свое начало из снежников и малых ледников горно-ледникового бассейна: Койавган, Виатау.

Механизм русловой эрозии был оценен на основе сопоставления транспортирующей способности потока $R_{тр}$ и фактического расхода наносов R. Река Джанкуат представляет из себя гиперконцентрированный поток, средняя мутность за исследуемые периоды времени составляет 1190 г/м^3. Сопоставление транспортирующей способности потока и фактического расхода наносов позволяет выявить механизм взаимодействия потока и русла. Для реки Джанкуат характерно переотложение материала, поступающего в русловую сеть при размыве моренных отложений. Значения фактического расхода наносов R превышают рассчитанные значения $R_{тр}$. Минимальное значение отношения

$R_{тр}/R_{ср}$ составляет 0,0000027, максимальное – 0,0484 (при среднем значении $R_{тр}/R_{ср}$ = 0,0024).

Заключение

В результате проведенной работы было выявлено, что преобладающая часть наносов поступает в русловую сеть из ледниковой части бассейна в результате размыва моренных отложений. Насыщение потока определяет развитие аккумуляции и переотложение поступающего сверху материала, в результате чего происходит постоянное смещение русла в толще собственных отложений и отрицательный баланс наносов на участке реки.

Механизм эрозионного моделирования для горно-ледниковых водосборов позволяет оценить вклад бассейновой составляющей в общий сток наносов, однако алгоритмы, основанные на Универсальном Уравнении Потерь Почвы (USLE) и Модифицированном Универсальном Уравнении Потерь Почвы (MUSLE) учитывают только плоскостной смыв и ручейковую эрозию (Wischmeier, Smith, 1978) и не позволяют оценить вклад овражной и линейной эрозии, которая в условиях высокогорья может составлять значительную долю поступающего в русловую сеть материала.

Размыв моренных отложений в ледниковой части бассейна – исключительный источник формирования стока наносов, роль русловых источников сводится к аккумуляции до 80% поступающего материала.

Список литературы

Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Географ. ф-т МГУ, 1998. 202 с.

Россинский К.И., Кузьмин И.А. Балансовый метод расчета деформация днапотока//Труды Гидропроекта. Сб. 12. 1964. - С. 265-271

Fry, J., Xian, G., Jin, S., Dewitz, J., Homer, C., Yang, L., Barnes, C., Herold, N., and Wickham, J., 2011., PE&RS, Vol. 77(9):858-864.

Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses // Agriculture. Handbook No.537. – Washington, D.C.: United States Department of Agriculture. – 1978. – 65 p.

Drivers of sedimentary fluxes assessment in alpine catchments (case study Djankuat catchment, Central Caucuses)

***Bazilova V.O.*, Chalov S.R., Tsyplenkov A.S.**

Lomonosov Moscow State University, Moscow

varyabazilova@gmail.com

Abstract: The sediment yield formation in the mountain catchments is a complex process, which is affected by many parameters, such as watershed processes (landslides, glacier ablation), in-channel processes regime, synoptic situation, etc. The case-study is Djankuat river (Cantral Caucases). It's water and sediment regime is determined by the Djankuat glacier fluctuations (both daily and seasonal), Djankuat glacier is the main water source. Due to global changes in the environment, glacier melting in the headwaters plays the key role in the erosion and accumulation patterns. This research is a field-based study, which aims to get an understanding of the impact of modern changes in the climatic conditions and rivers regime on sedimentation rates and relative contributions of different sediment sources input to the river sediment discharges. This requires the use of field monitoring and model estimations, using Universal Soil Loss Equasion (USLE) and its modified versions. The research is focused on complex investigations of watershed processes in glacial catchment (hydrological, geomorphological).

Keywords: sediments, erosion modelling, Central Caucuses, Djankuat, alpine catchment

Изменение стока рек высокогорной зоны Тянь-Шаня

***Белозёров Е.В.*[1], *Рец Е.П.* [2], *Петраков Д.А.*[2], *Киреева М.Б.*[1]**
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва
[2]*Институт Водных Проблем РАН, Москва*
Egora1000@Mail.ru

Аннотация: Горное оледенение Земли несет в себе многолетние запасы воды, которые питают горные реки. За последние десятилетия происходит деградация оледенения в большинстве горных систем (Ильясов и др., 2013), что приводит к увеличению стока рек высокогорной зоны, в то же время запасы воды в ледниках не возобновляются. На данный момент в странах Средней Азии уже стоит проблема, связанная с водными ресурсами, которая по различным оценкам (Ильясов и др., 2013), может обостриться в ближайшие десятилетия.

В данной работе анализируются данные о годовой и сезонной температуре воздуха, атмосферных осадках и речном стоке, собранные на гидрологических постах и метеорологических станциях территории республики Кыргызстан. Выявлено, что с 1978 года на 12 метеорологических станциях среднегодовая температура воздуха возросла на 1 – 4 С°, количество осадков увеличилось в среднем, на 10 %. Данные изменения приводят к увеличению таяния ледников в регионе, а также к уменьшению накопления их массы в зимний период. По данным наблюдений на 43 гидрологических постах прослеживается увеличение стока рек Республики Кыргызстан. Увеличение среднегодовых расходов воды за последние 40 лет составляет 10 – 50%. Наибольшие изменения характерны для малых горных бассейнов с высокой долей оледенения. Рост минимальных расходов воды в некоторых бассейнах составляет более 150%.

Для оценки таяния ледников было проведено моделирование ледника №354 с помощью модели A-Melt, которая ранее показала хорошие результаты в горном массиве Центрального Кавказа. Входными данными являются: наблюдения за метеорологическими параметрами на метеостанции Тянь-Шань (рудник Кумтор), цифровая модель рельефа поверхности ледника, стереопары космических снимков GeoEye 2012 г. Для верификации модели используются полевые наблюдения за 2015 – 2017 гг. В результате моделирования таяния ледника №354 установлена его деградация. Только за один год, начиная с 2004 по 2015 гг., баланс массы был положительным. Кумулятивный баланс массы за 11 лет составил -5,8 метров водного эквивалента. Продолжительная потеря массы ледников региона в дальнейшем может привести к понижению водности рек Республики Кыргызстан.

Ключевые слова: Таяние льдов, речной сток, деградация ледников, изменение климата.

Введение

Начиная с 21 века в странах Средней Азии проблема нехватки водных ресурсов с каждым днем становится все актуальнее. Так как один из основных источников воды в регионе это талые воды ледников, то изменение климата оказывают на них существенное влияние. Для орошения на сельскохозяйственные нужды используется около 90% всех используемых водных ресурсов.

Чтобы получить представление о происходящих изменениях был проведен анализ на трех пространственно-временных масштабах. Первый масштаб — это исследование динамики гидроклиматиечских показателей Республики Кыргызстан в целом, для этого используются данные о температуре воздуха, количестве осадков, стоке рек страны.

Второй этап — это изучение трансформации стока в пределах одного репрезентативного водосбора – бассейна р. Чон-Кызыл-Су. Последний масштаб исследования — это моделирование таяния отдельного ледника, для оценки вклада талого стока.

Материалы и методы

В работе использовались данные о речном стоке на 43 гидрологических постах и 12 метеорологических станциях. Наблюдения усреднялись и сравнивались за период до и после 1978 года, так как в большинстве источников этот год выбран как переломный (Sorg et. al., 2014), после которого наблюдается интенсификация таяния ледников. Анализ проводился с помощью разностно-интегральных кривых (РИК), сглаженных средних кривых, а также построения картосхем показателей.

Трансформация стока в пределах одного бассейна изучалась в бассейне реки Кызыл-Суу, так как здесь находятся 4 гидрологических поста и 2 метеорологических станции, а также ведутся наблюдения за опорным ледником Карабаткак. Так как в селе Кызыл-Суу идет активное изъятие воды на орошение, то изучение стока горной реки с преобладающим питанием талых вод является важным моментом исследования водных ресурсов региона.

Для более локального масштаба исследования был выбран ледник №354, на котором проводилось моделирование таяния. Выбор был связан с тем, что в близости находится опорный ледник Сары-Тор, на котором ведутся наблюдения более 50 лет. Есть угроза, что из-за добычи золота ледник Сары-Тор перестанет существовать. С помощью моделирования балансовых составляющих ледника №354 есть возможность перенести ценную информацию о наблюдениях за ледником Сары-Тор на ледник №354. Моделирование ледника проводилось с помощью модели A-melt, входными данными для которой являются: метеорологические характеристики, измеренные на метеостанции Тянь-Шань (рудник Кумтор), цифровая модель рельефа поверхности ледника (Рец и др., 2011). Отдельно хочется поблагодарить компанию Кумтор Голд Компани, за предоставленные метеоданные. Также используются данные снегомерных наблюдений, а также данные с абляционных реек на леднике. Расчет проводился с помощью языка программирования Fortran, визуализация с помощью языка программирования R.

Результаты

В регионе происходит активное изменение климата. К настоящему моменту на территории страны произошло увеличение средней годовой суммы осадков приблизительно на 25% (с 400 до 500 мм) (Ильясов и др., 2013). Согласно прогнозам, водопотребление в Республике Кыргызстан к 2025 году может увеличиться на 25% (Винокуров и др., 2007), но сток рек региона, возможно, перестанет расти за счет поступления талых вод. Так, например, по прогнозам к 2100 году максимальный значение стока р. Чон-Кемин уменьшится на 60 млн $м^3$, и пик половодья будет не в июле-августе как сейчас, а в мае (Sorg и др., 2014).

Сравнивая показатели до и после 1978 года, наблюдается увеличение среднегодовой температуры в Республике Кыргызстан на 1-4 °С, наибольшие изменения характерны для территорий находящихся на окраине горных массивов. Схожий характер распределения имеет и количество выпадающих осадков: увеличение произошло в среднем на 5 – 15 %. Такое перераспределение климатических показателей ведет к тому, что за зимний период в горах накапливается меньше снежно-ледниковой массы, также увеличивается продолжительность дней с температурой воздуха больше 0 °С, что соответственно ведет к ускорению таяния ледников.

На реках Республики Кыргызстан произошло увеличение среднегодовых расходов воды на 10 – 50%. Наибольшие изменения приурочены к малым бассейнам с максимальной площадью оледенения. Устойчивый рост водности рек наблюдается с 1970х годов, что особенно это заметно для характеристик минимального стока. Увеличение минимальных месячных расходов воды произошло в среднем на 65 % (от 0 до

150%). Пик водности рек смещается с июня-июля месяцев на май-июнь. Трансформация стока в репрезентативном бассейне реки Кызыл-Суу происходит в соответствии с изменением высоты местности при переходе от горной территории к равнинной. Водность реки в верховьях устойчиво увеличивается, начиная с 1978 года. Среднегодовой расход воды увеличился на 3 м^3/сек, с 5 до 8 м^3/сек. Однако, в низовьях в связи с антропогенным изъятием водных ресурсов это не столь заметно.

Моделирование таяния в высокогорной зоне проводилось с помощью модели A-melt, на примере леднике №354в горном массиве Акшийрак. С помощью цифровой модели поверхности ледника и метеорологических данных о солнечной радиации, атмосферных осадках и облачности со станции Тянь-Шань (рудник Кумтор). Для верификации модели использовались полевые наблюдения за 2015 и 2017 годы. В результате проведенных расчетов установлено активное таяния ледника №354, в период с 2004 по 2015 год кумулятивный баланс массы составил -5,8 метров водного эквивалента (Рис. 1). В 2009 году наблюдалось преобладание процесса накопления массы над потерей, однако этот год является скорее исключением. В данном регионе также проводились расчеты таяния ледника другими исследователями с помощью различных методов, можно сказать что результаты имеют схожий характер и свидетельствую о деградации оледенения (Farinotti et. al., 2015), (Petrakov et. al., 2016).

Для визуализации данных использовался язык программирования R, который показал, что нижние участки ледника больше всего теряют массу. При визуализации результатов заметно влияние метелевого переноса, из-за которого снежный покров накапливается неравномерно и в зонах с большим слоем снега происходит замедление процесса таяния. Характерные потери массы в нижней части ледника достигают -5 метров водного эквивалента, практически по всей поверхности происходит деградация ледового покрова, только в верхней части баланс массы положительный и достигает 3 метров водного эквивалента. В результате работы обнаружена тесная связь между балансами массы ледников №354 и Сары-Тор (r = 0.96), что позволяет перенести длинный ряд наблюдений с ледника Сары-Тор на ледник №354 и продолжить многолетние наблюдения за динамикой оледенения в регионе.

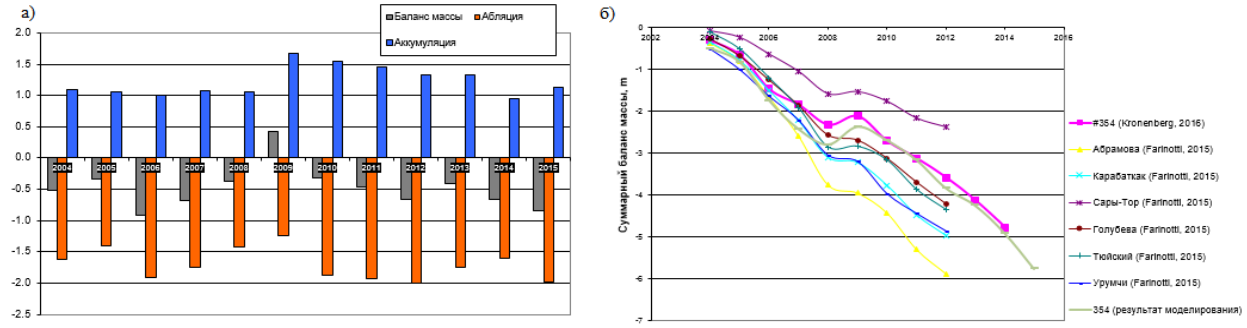


Рисунок 1. График изменений, составляющих баланса массы ледника № 354, полученных в результате моделирования (а), совмещенный график изменения кумулятивного баланса массы (б).

Выводы

На территории республики Кыргызстан, начиная с 70х – 80х годов, происходит увеличение среднегодовой температуры на 10 – 45% и количества выпавших осадков на 5 – 15%. Это выражается в рост расходов воды и водности рек региона, особенно в высокогорной части. На территории репрезентативного бассейна реки Кызыл-Суу после 1978 года водность реки увеличилась на 25%, среднегодовая температура на 10%,

количество осадков увеличилось на 15%. Основное изменение стока реки Кызыл-Суу прослеживается в сезон начала таяния ледников (апрель-июнь) и в его конце (август-октябрь). Рост температуры воздуха в октябре увеличился на 153%, что приводит к увеличению средних расходов воды в этом месяце на 50%, а минимальных на 87%.

Моделирование ледника №354 показывает активную деградацию горного оледенения. Поскольку результаты расчетов показывают тесную связь между балансовыми составляющими ледника Сары-Тор и №354, то есть возможность пересчитать ряд наблюдений и продолжить его на новом леднике. Подводя итог, можно сказать, что изменение климата в регионе сильно влияет на сток рек Республики Кыргызстана и экономику страны, поскольку большое количество воды идет на орошение. Согласно различным прогнозным оценкам (Винокуров и др., 2007) в скором времени проблема нехватки водных ресурсов в регионе может обостриться, так как запас воды в ледниках постепенно может быть исчерпан.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 16-35-60042, 18-05-00838.

Список литературы

Рец Е.П., Фролова Н.Л., Поповнин В.В., Моделирование таяния поверхности горного ледника. М.: Лёд и снег, 2011. 24-30 стр.

Винокуров Е., Инвестиции и сотрудничество в гидроэнергетике Центральной Азии, 2007. 12-17 стр.

Ильясов Ш., Забенко О., Климатический профиль Кыргызской республики, 2013. 1-48 стр.

Sorg A., Huss M., The days of plenty might soon be over in glacierized Central Asian catchments, 2014. p. 40-52.

Farinotti D., Longuevergne L., Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years, 2015. p. 12-26.

Kronenberg M., Barandun M., Petrakov D., Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014, 2016. p. 1-13.

Change in rivers flow of in high-mountain zone of the Tien-Shan

***Belozerov E.V.*[1], Rets E.P.[2], Kireeva M.B.[1], Petrakov D.A.[1]**
[1]*Lomonosov Moscow State University, Moscow*
[2]*Water Problems Institute, RAS, Moscow*
Egora1000@Mail.ru

Abstract: In mountain glaciers of the Earth there are large reserves of water, which actively feed mountain rivers. Over the past few decades, there has been a degradation of glaciation, which leads to an increase in the flow of rivers in the highland zone, but the water reserves in glaciers are not permanent. Now, the problem in Central Asia is connected with water resources.

We used data from hydrological gauges, meteorological stations, as a result, it is noticeable climate change in the Republic of Kyrgyzstan is traced. It was revealed that from 1978 on 12 meteorological stations the average annual temperature rose from 1 to 4°C, the amount of precipitation increased by 10%. These changes lead to an increase in the melting of glaciers in the region, as well as to a decrease in the accumulation glacier mass in the winter. According to the data from 43 hydrological gauges, rivers flow of the Republic Kyrgyzstan is increasing. The increase in average annual water expenditure has occurred by 10 to 50% since 1978. The greatest changes are characteristic for small mountain basins with a high proportion of glaciation. The increase in minimum water charge consumption in some basins is more than 150%.

For estimate melting of glaciers, the glacier No. 354 was simulated using the A-Melt model, which previously showed good results in the Caucasus mountain range. The input data are meteorological data from the Tien-Shan Kumtor weather station, digital model of surface glacier from the GeoEye satellite image stereopair 2012. To verify the model, field observations for 2015 - 2017 are used. As a result of the simulation on glacier No. 354, active melting and a change in glacier mass were established. Only in one year, from 2004 to 2015, the mass balance was positive. The cumulative mass balance for 11 years was -5.8 meters of water equivalent. Continuous glaciers mass loss over the study region will lead to a decrease of liquid water content in rivers of the Republic of Kyrgyzstan in the near future.

Keywords: Glacier melting, river runoff, glacier degradation, climate change.

Современный и будущий ледовый режим рек Арктической зоны России

Василенко А.Н.
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва
saiiiia24@mail.ru

Аннотация: Для территории России, расположенной севернее 60 с.ш. оценены современные характеристики различных фаз ледового режима и их изменения по сравнению с периодом 1950-1980 гг, отражающим состояние климата до начала его изменений. Также проводится оценка будущего ледового режима рек Арктической зоны России на середину и конец XXI в. В работе используются данные гидрологических постов за период с 1950 по 2014 гг, данные климатического реанализа TCR Национального агентства по океану и атмосфере (США), а также результаты реализации сценария RCP 8.5 различными климатическими моделями международного проекта CMIP5. Изменения современного ледового режима выражаются в сокращении периода с ледовыми явлениями и периода ледостава, а также увеличении продолжительности периода вскрытия рек. К середине и концу XXI ожидается их дальнейшее сокращение и увеличение соответственно.

Ключевые слова: ледовый режим, ледовые явления, изменения климата.

Введение

В климатических условиях России ледовые явления распространены на реках практически повсеместно. Зачастую они выступают лимитирующим фактором безопасности населения и сохранности объектов инфраструктуры. Из-за ряда ледовых явлений, к примеру, может нарушаться эксплуатация водозаборов и различных транспортных переходов, производиться разрушение гидротехнических сооружений, ограничиваются сроки навигации водного транспорта. Ряд опасных гидрологических явлений, в том числе наводнений, формируется, также, с участием ледовых явлений.

Климат арктической зоны России, претерпевает в настоящее время наиболее значительные на территории России изменения (Второй оценочный доклад, 2014). Ледовый же режим рек, как отмечено в (Prows et all, 2002), является одним из наиболее чутких индикаторов климатических изменений.

В настоящей работе под Арктической зоной будем иметь в виду сухопутные территории России, расположенные севернее 60˚с.ш.

Описываемые территории обладают огромными гидрологическими ресурсами. Здесь расположены нижние течения и устья рек: Онега, Северная Двина, Мезень, Печора, Обь, Енисей, Хатанга, Анабар, Оленек, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Анадырь, а также множество бассейнов больших, средних и малых рек.

Гидрологический режим рек различен. Они имеют преобладающее снеговое питание. Половодье проходит с мая на западе территории и до июля на востоке. Повсеместно половодье длится месяц и более и может осложняться дождевыми паводками. Для севера европейской территории России (ЕТР) и для западной Сибири характерны летние и осенние дождевые паводки. Минимальный сток приходится на зимнюю межень. С запада на восток его величина по сравнению со стоком летней межени уменьшается вплоть до полного прекращения.

С запада на восток арктической зоны наблюдаются различные природно-климатические условия. От умеренного морского климата на севере Кольского полуострова до резко-континентального на побережье морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. От низменных облесенных равнин севера ЕТР и низменных же тундр полуостровов Ямал и Гыдан до горных тундр северо-востока Сибири. Значительное распространение имеют болота и озера. Их число уменьшается с запада на восток. На всей

территории, за исключением большей части Республики Карелия и Архангельской области, а также горных районов, распространены многолетнемерзлые породы.

Таким образом, формируются различные условия образования, развития и разрушения ледовых явлений на реках арктической зоны России.

В условиях освоения ресурсной базы Арктики, происходящие трансформации ледового режима могут быть использованы для минимизации всех видов издержек (Козлов и др., 2015), связанных с гидрологической безопасностью территорий, что в свою очередь ведет к удешевлению развития арктической зоны нашей страны.

Материалы и методы

Для анализа происходящих изменений ледового режима рек были использованы данные 163 гидрологических постов (рис. 1), расположенных на реках, имеющих различную площадь водосбора: от первых сотен (р. Сосновка, Кольский полуостров), до сотен тысяч (р. Лена) квадратных километров, и расположенных на всей территории арктической зоны России. Стоит отметить, что с запада на восток количество постов убывает, а плотность их расположения уменьшается.

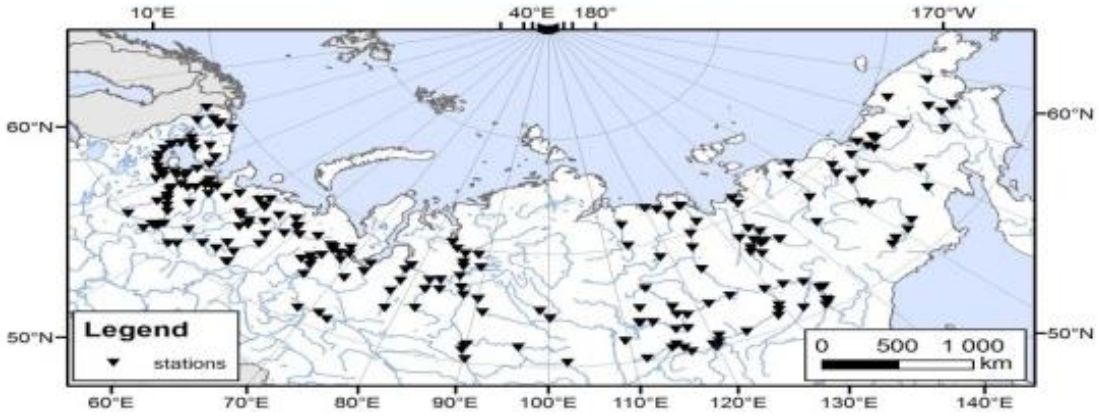


Рис. 1 Исследуемая территория и рассматриваемые в работе гидрологические посты

Для сопоставления использовались осредненные данные за периоды 1950-1980 гг. и 1981-2014 гг. Пропуски в наблюдениях и короткие ряды были восстановлены с использованием метода гидрологической аналогии по данным постов, расположенных в сходных физико-географических условиях.

Наличие значимых различий между средними значениями в выборках определялось с использованием критерия Манна-Уитни. Все ряды данных также были проверены на отсутствие значимых трендов с использованием критерия Спирмена.

Сравнение проводилось для характерных дат ледового режима: появления льда, замерзания, вскрытия и очищения, а также для продолжительности периодов с ледовыми явлениями, замерзания, ледостава, вскрытия и очищения. Кроме того, в качестве параметра изменчивости сравнивались среднеквадратические отклонения рядов рассматриваемых характеристик.

Для оценки будущих характеристик фаз ледового режима использовались связи его характерных дат с датами устойчивого перехода температур воздуха через 0°С. Для определения последней характеристики использовался принятый в метеорологических исследованиях метод Д.А. Педя (Педь, 1951). Необходимые для его применения суточные характеристики температуры воздуха за каждый год извлекались из узлов сетки реанализа TCR, имеющей ячейки величиной 1,9x1,9 градуса. Использовались данные ближайших к гидрологическим постам узлов сетки. Затем строилась простая линейная модель, связывающая характерную дату ледового режима и дату осеннего, либо весеннего

перехода температуры воздуха через 0 °С. Данные об устойчивом переходе температуры воздуха через 0 °С в середине и конце XX в. были получены из результатов расчета сценария RCP 8.5 проекта CMIP.

Результаты и обсуждение

Появление первого льда на реках в виде шуги и заберегов в среднем происходит в современных условиях на протяжении октября по всей территории Арктической зоны. Наиболее рано, в первых числах месяца, лед начинает образовываться в северной и северо-восточной Якутии, а также на Чукотке, в начале второй декады начинается ледообразование на реках Западной Сибири и в бассейне р. Енисей, а в последних числах месяца первый лед отмечается на Севере ЕТР. На крупных реках лед устанавливается позже, чем на малых, особенно это проявляется на р. Лена, где запаздывание составляет 7-10 дней.

Величина изменений за последние 30 лет растет с востока на запад, с севера на юг, в сторону более поздних дат. При этом в Восточной Сибири и на северо-востоке страны изменения минимальны и составляют в среднем 2-3 дня. Западнее бассейна р. Енисей наблюдается увеличение величины изменений до 4-6 дней. Максимальные изменения отмечаются на Севере ЕТР, на правых притоках р. Печора. Аналогично фактическим изменениям трансформируется и среднеквадратическое отклонение от изменения этой величины менее чем 1 в Восточной Сибири и на Северо-Востоке до 1 на западе Архангельской области. В абсолютных единицах среднеквадратическое отклонение сроков появления льда составляет от 3-5 в Восточной Сибири до 10-11 на Севере ЕТР.

Продолжительность замерзания составляет для рек арктической зоны в среднем от 10 до 14 дней. Соответственно, средние даты установления ледостава смещаются на более поздние с востока на запад, с севера на юг, как и даты появления льда. При этом географическое распределение дат замерзания в Восточной Сибири и на северо-востоке более субширотно, чем аналогичное для дат появления льда. Климатические изменения привели к наступлению замерзания в более поздние сроки в последние 30 лет. Наименьшие изменения произошли на северо-востоке (1 день) и в Восточной Сибири (1-2 дня). Несколько более значимые изменения наблюдаются в Западной Сибири (3 дня). Наиболее значимые в Поморье (до 5 дней). Среднеквадратическое отклонение сроков замерзания рек лежит в границах от 3-5 в Восточной Сибири до 15-17 на юге Карелии и Архангельской области.

Продолжительность ледостава на реках арктической зоны России в последние 3 десятилетия убывает на срок от нескольких дней в северо-восточных районах до 3 недель в бассейнах рек Мезень и Печора. Тем не менее, она продолжает в большей части случаев превышать полугодовой период. Наиболее длительный ледостав наблюдается на реках полуостровов Таймыр и Чукотский –до 9 месяцев. Наименее длительный ледостав наблюдается на юге Карелии – 5 месяцев.

Ледоход в Арктической зоне начинается на юге Карелии и западе Архангельской области в последних числах апреля. В первой декаде мая вскрываются большинство рек севера ЕТР, кроме территорий севернее Северных Увалов. К середине второй декады мая вскрываются практически все реки севера ЕТР и реки Кольского полуострова. В третьей декаде этого месяца вскрываются реки Восточной Сибири. Наиболее поздние сроки вскрытия наблюдаются в северо-восточной Якутии и на Таймыре.

Смещение на более ранние даты составляет по восточной Сибири 2 дня, по Западной Сибири – 4 дня, по Северу ЕТР – до 5 дней. Среднеквадратическое отклонение сроков вскрытия составляет от 9 на Севере ЕТР и в Западной Сибири до 5 на Чукотке и 7 на Кольском полуострове и в Карелии. При этом на Севере ЕТР изменчивость даты начала ледохода уменьшается.

Очищение рек ото льда происходит в среднем за 1 неделю по всей территории. Наблюдается увеличение продолжительности периода вскрытия от юго-запада севера ЕТР на северо-восток (от 1 дня до 2 недель), а также с юга на север на сроки тех же порядков в Сибири и на северо-востоке. Наибольшая продолжительность вскрытия наблюдается на

средних реках с горными водосборами. Географическая зональность сроков очищения практически совпадает с зональностью сроков вскрытия рек. Смещение на более ранние даты в среднем невелики и составляют от 5 дней на Кольском полуострове и в Карелии до 1 дня на севере Якутии. При этом, вариабельность этой характеристики на Севере ЕТР несколько уменьшается.

Табл. 1 Современные характеристики дат различных фаз ледового режима рек и их изменения за период 1981-2014 гг. по сравнению с периодом 1951-1980 гг.

Регион	Дата появления льда				Дата замерзания			
	Среднее	δ	Δ дат	Δ δ	*Среднее*	δ	Δ дат	Δ δ
Кольский	25 окт	10	4	-1	7 ноя	18	1	3
Карелия	1 ноя	11	5	0	19 ноя	16	5	1
Север	25 окт	11	6	2	8 ноя	14	5	2
Зап.Сибирь	12 окт	7	4	2	21 окт	8	3	1
Енисей	12 окт	6	2	1	25 окт	7	2	1
Якутия	1 окт	5	2	0	11 окт	5	2	0
Северо-Восток	3 окт	6	3	0	16 окт	6	3	0
Регион	**Дата начала ледохода**				**Дата очищения ото льда**			
	Среднее	δ	Δ дат	Δ δ	*Среднее*	δ	Δ дат	Δ δ
Кольский	11 май	7	-5	-2	14 май	8	-5	-2
Карелия	27 апр	7	-2	0	2 май	7	-5	-2
Север	11 май	9	-3	-2	13 май	8	-3	-2
Зап.Сибирь	27 май	9	-4	2	31 май	9	-4	2
Енисей	24 май	8	-4	2	2 июн	7	-3	2
Якутия	31 май	6	-2	1	4 июн	5	-1	1
Северо-Восток	25 май	5	-2	0	29 май	5	-3	0

Суммарная продолжительность периода с ледовыми явлениями на реках сокращается на срок от 10 дне на Севере ЕТР до недели в Западной Сибири и в бассейне р. Енисей и до 3-5 дней в северной Якутии и на Чукотке. При этом возрастающая продолжительность осенних и весенних ледовых явлений, в частности процессов вскрытия реки, приводит к усложнению водопользования в осенний и весенний периоды. Важно также отметить, что при вскрытии рек увеличилась повторяемость опасных ледовых явлений, таких как заторы льда и прохождение ледохода при высоких уровнях воды. Наибольшее учащение произошло на севере ЕТР.

Современные характеристики ледового режима рек Арктической зоны и их изменения за последние 30 лет по сравнению с периодом до начала климатических изменений отражены в таблице 1.

Характеристики будущего ледового режима были оценены в первую очередь для Севера ЕТР и Западной Сибири, как района Арктической зоны, в котором ледовый режим претерпевает наибольшие изменения.

Сделанная оценка показала смещение дат появления льда к середине века на первые числа ноября и на середину второй декады этого месяца к концу столетия. Установление же ледостава, по оценке, смещается на конец ноября-начало декабря в пределах 1 недели к концу XXI в. В середине же века эта дата ожидается во второй декаде ноября.

Вскрытие же рек ожидается на неделю раньше, чем в современных условиях к 2050 г и на 2 недели раньше к 2100 г. Продолжительность периода с ледовыми явлениями, таким образом, может сократиться на срок от 2-3 недель до 1,5 месяцев.

Выводы

В современных климатических условиях наблюдается сокращение периода ледовых явлений на реках Арктической зоны России на срок от нескольких дней на востоке до

недели и более на западе. При этом наблюдается увеличение периода замерзания и вскрытия рек, что осложняет возможности хозяйственного освоения речных долин. Кроме того, наблюдается увеличение повторяемости опасных ледовых явлений.

Сделанные оценки показывают возможность сокращения периода с ледовыми явлениями на срок от нескольких недель до 1,5 месяцев по всей рассматриваемой территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 14-17-00155П. Выражаю благодарность своему научному руководителю профессору д.г.н. Фроловой Н.Л и научному сотруднику кафедры гидрологии суши к.г.н. Агафоновой С.А.

Список литературы

Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014. Основной том. 1009 с.

Козлов Д.В., Бузин В.А., Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Бабурин В.Л., Банщикова Л.С., Горошкова Н.И., Завадский А.С., Крыленко И.Н., Савельев К.Л., Козлов К.Д., Бузина Л.Ф.; Под общей ред. проф., д.т.н. Д.В. Козлова. М.:Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2015. 348 с.

Педь Д.А. Об определении дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и гидрология, 1951. № 10. С. 38–39.

Prowse Terry D., Beltaos Spyros (2002) Climatic control of river-ice hydrology: a review //– Hydrological Processes. V.16: 805-822. DOI: 10.1002/hyp.369

Modern and future ice regime of rivers of the Arctic zone of Russia

Vasilenko A.N.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
saiiiia24@mail.ru

Abstract: The ice regime of river is one of the most sensible element of hydrosphere to climate changes. Besides it is one of the reason of dangerous hydrological events. This paper is devoted to modern characteristics of ice regime and to its changes last 30 years, after the beginning of climate changes and to projection of future characteristics of river ice regime.

Keywords: ice regime, ice events, climate changes

Снижение доли наледного регулирования в поверхностном стоке рек Забайкалья

Верхотуров А.Г.
Забайкальский государственный университет, г. Чита
weral0606@yandex.ru

Аннотация: На основе анализа изменения мерзлотно-гидрогеологических условий рассмотрены причины снижения доли наледного регулирования в поверхностном стоке рек Забайкалья. Установлено, что наибольшое значение оно имеет в северной части Забайкалья, бассейнах рек Чара, Муя, Верхняя Ангара. Результы исследований показали, что причинами этого является геологическая история региона, особенно в кайнозое, обусловившая формирование мерзлотно-гидрогеологических условий и современные климатические условия. Выявлено, что в северном Забайкалье отношение стока вод, идущих на образование наледей. к зимнему меженному стоку на замыкающих створах зависит как от мерзлотных условий, так и от климата. В бассейне верховьев р. Чара оно составляло 2,51, а в сопредельном бассейне р. Муя с более благоприятными климатическими условиями и мерзлотными условиями это соотношение составляло 0,34. Установлено, что в формировании весенне-летнего поверхностного стока большую роль играют талые наледные воды наледей речных вод (май-июнь), подземых вод и наледи смешанного питания (май-июль). Исследования показали, что в районах, где наледи формируются по южному варианту их площади и объемы сократились более чем на 30-50 %, а на отдельных территориях они вообще перестали образовываться, соответственно увеличился подрусловой сток.

Ключевые слова: сток, наледь, речной бассейн, температура, расход.

Введение

Забайкалье является горно-складчатым районом России, одной из проблем освоения которого являются наледи различных генетических типов, осложняющие строительство и затрудняющие эксплуатацию различных инженерных сооружений. Определение объёмов наледеобразующего стока в речных бассейнах, где многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение, позволяет оценить естественные ресурсы подземных вод в таликах – коллекторах (Романовский, 1981; Шестернев и Верхотуров, 2006). Эти ресурсы подземных вод, аккумулированные в наледях, обеспечивают значительную долю поверхностного стока в весенне-летний период. Значительный вклад в исследование наледеобразования в разные годы внесли: Н.А. Вельмина, С.М. Фотиев, Н.Н. Романовский, В.Р. Алексеев, Б.Л. Соколов, И.А. Некрасов, О.Н. Толстихин, В Е. Афанасенко и многие другие, но вопрос о значении наледей для перераспределения подземного и поверхностного стоков в речных бассейнах пока является дискуссионным.

Большая протяженность региона в широтном направлении и с запада на восток, сильно пересеченный рельеф, особенно в северной части Забайкалья приводит к тому, что условия развития наледных процессов, а соответственно и доля наледного регулирования поверхностного стока значительно различаются.

Материалы и методы

В основу работы положены результаты комплексных исследований наледеобразования в Забайкалье с 80-х годов XX века и по настоящее время. Полевые исследования выполнялись в северном, центральном и южном Забайкалье и на наледных полигонах, где изучалась динамика и закономерности формирования наледей, причем

значительное внимание уделялось связи наледеобразования и факторов природной обстановки.

Изучение наледей Забайкалья, учитывая особенности его геоморфологии, целесообразнее всего проводить по наледным бассейнам (Алексеев, 1987), так как гидрологический режим водотоков и подрусловой их сток являются главными регуляторами наледеобразовательных процессов в речных долинах. Для выявления закономерности изменения наледности в зависимости от мерзлотно-гидрогеологических условий территории в табл. 1 представлено совмещенное мерзлотно-гидрогеологическое и наледное районирование Забайкалья.

Наледные бассейны более низких порядков (VII-го и ниже), как правило, входят в состав только одной гидрогеологической структуры и формируются, преимущественно, в одинаковых мерзлотно-гидрогеологических и климатических условиях. Учитывая эти особенности, в работе рассмотрена наледность бассейнов VII-го порядка.

Табл. 1 Мерзлотно-гидрогеологические районы и наледные бассейны Забайкалья

Мерзлотно-гидрогеологические районы*			Наледный бассейн	
Надпорядковая ГСО	ГСО I порядка	КГМ (ГСО) II порядка	VIII порядка	VII порядка
Восточно-Сибирская гидрогеологическая складчатая область	Байкало-Чарская	Северо-Байкальский	Витимский	Куандинский
				Каларский
			Олекминский	Верхнечарский
	Забайкальская	Витимо-Олекминский		Верхнеолекминский
				Тунгирский
			Витимский	Каренгский
			–	Амазарский**
		Селенгинский	Селенгинский	Хилокский
Монголо-Охотская гидрогеологическая складчатая область	Даурская	Хэнтей-Чикойский		Чикойский
		Восточно-Забайкальский	Шилкинский	Ингодинский
				Ононский
			Аргунский	Газимур-Аргунский

Примечание: * - наименования районов приняты в соответствии с легендой Карты мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири масштаба 1:2 500 000 (ред. П.И. Мельников, 1980); ГСО – гидрогеологическая складчатая область, КГМ - криогидрогеологический массив; ** - относится к Амурскому наледному бассейну IX-го порядка.

Результаты

В зависимости от широтной зональности и высотной поясности наледи подземных вод формируются по северному, умеренному и южному вариантам (Романовский, 1981). В северном Забайкалье практически все подземные воды, поступающие по напорно-фильтрационным или несквозным грунтово-фильтрационным таликам, идут на образование наледей. В центральном Забайкалье в условиях прерывистого распространения ММП под руслами рек, как правило, существует непрерывные грунтово-фильтрационные талики и только часть подземных вод идет на формирование наледей. В южных районах, где криогенные водоупоры совпадают с литологическими, наледеобразование происходит в отдельные годы с низкими температурами воздуха в зимний период и высоким количеством атмосферных осадков летом.

В наледных районах минимальные ресурсы подземных вод складываются из подземного стока, идущего на образование наледей и поверхностного стока на замыкающих створах в зимнюю межень. Расходы на замыкающих створах за многолетний период изменяются на 100-150 %, а расходы, идущие на образование наледей до 40 % в зависимости от количества осадков, выпадающих в летний период в пределах речного

бассейна. В северном Забайкалье (верхняя часть бассейна р.Чара) отношение расхода наледного питания (11,8 $м^3/с$) к зимнему меженному стоку (4,7 $м^3/с$) в средние по влагообеспеченности годы составляет – 2,51. В сопредельном бассейне р. Муя с более благоприятными климатическими условиями это соотношение равно – 0,34 (расход наледного питания – 18,48 $м^3/с$, зимний меженный сток 6,30 $м^3/с$). Для бассейнов рек, расположенных в южном и центральном Забайкалье величина отношение наледного питания кзимнему меженному стоку, составляет сотые доли.

Модули наледобразующих расходов на реках северного Забайкалья в среднем равны: р. Чара – 0,99 л/(с•км^2); р. Муя – 0,6 л/(с•км^2); р. Куанда – 0,59 л/(с•км^2). На реках центрального и южного Забайкалья соответственно: р.Чикой 0,03 л/(с•км^2); р. Хилок – 0,022 л/(с•км^2); р. Ингода – 0,04 л/(с•км^2); р. Онон – 0,012 л/(с•км^2). Основные параметры наледей центрального и южного Забайкалья в сравнении с наледями северного Забайкалья значительно меньше - мощность на 25-50 %, площади и объемы отдельных наледей на порядок и более.

В горно-складчатых областях криолитозоны в формировании весенне-летнего поверхностного стока большую роль играют талые наледные воды наледей подземных вод и наледей смешанного питания. В центральном и южном Забайкалье таяние наледей заканчивается в мае-июне, в северном Забайкалье продолжительность разрушения определяется объемами наледей. Например, Муруринская наледь в бассейне верхнего течения р. Чара в отдельные годы полностью не разрушается (Марков и др., 2016). Если формирование наледей происходит в течении 5-6 месяцев, то период их таяния обычно не превышает 1-2 месяцев. Значительные объемы зимнего стока, аккумулируемого наледями северного Забайкалья и короткий период их разрушения приводят к тому, что в весенне-летний период талые наледные воды оказывают значительный вклад (до 10% от общего летнего) в формирование речного стока. Этот вклад пропорционален наледеобразующему расходу и в речных бассейнах северного Забайкалья на порядок выше, чем в центральных и южных районах.

Анализ климато-гидрологических факторов за многолетний период показал, что они характеризуются значительными изменениями на всей территории региона. Средние годовые температуры воздуха, по данным метеостанции г. Чита, за весь период наблюдений изменялись от -3,5 ^oC до 0,5 ^oC, причем линейный тренд более чем за сто лет показывает рост средних годовых температур от -2,4 ^oC до -1.1 ^oC (рис. 1а). Полиномиальная линия тренда показывает наличие трех примерно 40-летних циклов роста и понижения средних годовых температур воздуха, причем третий цикл, начавшийся в конце XX века, характеризуется наиболее быстрым ростом.

В этот же период годовое количество осадков существенно не изменилось, хотя линейный тренд указывает на незначительное повышение (рис.1б). В результате засух последние трех лет резко понизились уровни грунтовых вод, уменьшились объемы подземных вод, аккумулируемых в таликах – коллекторах подземных вод. Это приводит к тому, что подземные воды, которые раньше участвовали в наледеобразовании срабатываются значительно быстрее и на участках разгрузки трансформируются в поверхностный или подрусловой сток.

За счет роста средних годовых температур воздуха увеличилось время транзита поверхностного и подруслового стока, уменьшились мощности речного льда и наледей. Речные наледи на р. Чара, вероятность образования которых ранее составляла 100 %, в настоящее формируются эпизодически, только в относительно многоводные годы. Значительно сократились объемы наледей, в том числе и очень крупных – Среднесакуканской, Нижнегамакитской, Муруринской. Расход наледного питания уменьшился на 20-30 %, что значительно выше обычных колебаний в многолетнем цикле.

В центральном и южном Забайкалье, где наледи формируются, в основном, по южному варианту их площади и объемы сократились более чем на 30-50 %, а на отдельных территориях они вообще перестали образовываться и соответственно увеличились: на неперемерзающих водотоках русловой сток, а на перемерзающих – подрусловой сток.

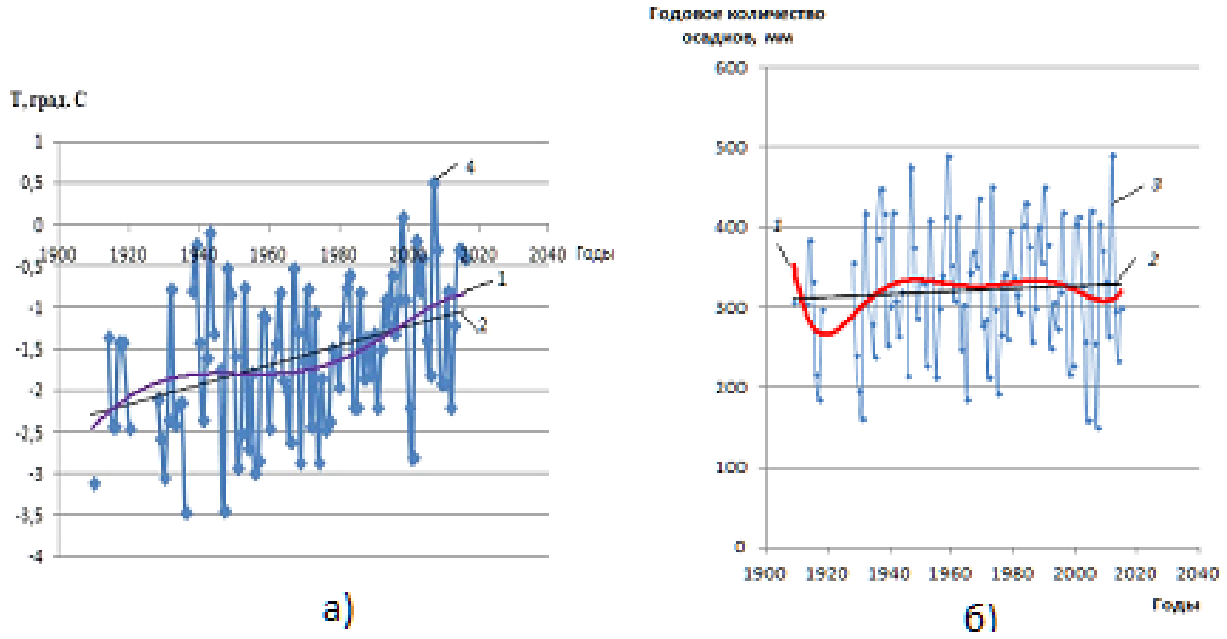


Рис. 1. Изменение среднегодовых температур и годового количества осадков по данным метеостанции г. Чита за период 1908−2015 гг. и линии трендов (1 – полиномиальная линия, 2 – линейный тренд, 3 – годовое количество осадков, 4- средняя годовая температура)

Выводы

Глобальное потепление вызывает постепенное уменьшение наледного регулирования поверхностного стока в северных районах Забайкалья и почти полное его исчезновение – в южных. Снижение доли наледного регулирования в поверхностном сток, происходит в тех же пропорциях, что и уменьшение наледобразующего стока.

Список литературы

Алексеев, В.Р. Наледи / Новосибирск: Наука, 1987. – 160 с.

Романовский Н.Н. Подземные воды криолитозоны / М.: Изд-во МГУ, 1983. 231 с.

Марков М. Л., Василенко Н. Г., Гуревич Е. В. Наледи зоны БАМ: Экспедиционные исследования // СПб.: Нестор-История, 2016. — 320 с.

Шестернев, Д.М. Верхотуров А.Г. Наледи Забайкалья / Чита: ЧитГУ, 2006. 217 с.

Reduction of the share of regulation in surface of the river Trasbaikala

Alexey Verkhoturov
Transbaikal State University, Chita
weral0606@yandex.ru

Abstract: Based on the analysis of the change in permafrost-hydrogeological conditions, the reasons for the decrease in the proportion of ice regulation in the surface runoff of the Transbaikalian rivers are considered. It is established that it has the greatest importance in the northern part of Transbaikalia, the basins of the Chara, Mui, and Upper Angara rivers. The results of the research showed that the reasons for this are the geological history of the region, especially in the Cenozoic, which led to the formation of permafrost-hydrogeological conditions and modern climatic conditions. Earlier it was revealed that in northern Transbaikalia the ratio of the flow of waters going to the formation of ice. to the winter run-off in the closing strips depends both on the permafrost conditions and on the climate. In the basin of the upper reaches of the river. Chara it was 2.51, and in the adjacent basin of the river. Muya with more favorable climatic conditions and permafrost conditions this ratio was 0.34. It is established that in the formation of the spring-summer surface runoff, the melted ice water of the river ice water (May-June) plays an important role, the podzemy waters and the ice-mixed food (May-July). The results of the research showed that in areas where ice sheets are formed according to the southern variant of their area and their volumes decreased by more than 30-50%, and in some areas they ceased to form at all, the subsoil flow increased accordingly.

Keywords: runoff, ice, river basin, temperature, flow.

Оценка весенней затороопасности на реках севера России по данным о термическом режиме зимнего сезона и особенностях снегонакопления

Голубев В.Н., Фролов Д.М.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
denisfrolovm@mail.ru

Аннотация: На основе данных о термическом режиме и особенностях снегонакопления по формуле с суточным разрешением проведена ретроспективная оценка толщины льда в бассейне реки Северная Двина и весенней затороопасности на период ледохода для 1990-2015.

Ключевые слова: Заторы, толщина льда, толщина снежного покрова, температура зимнего сезона.

Заторы возникают на реках из-за широтной протяженности и неодновременности разрушения ледяного покрова и заполнения живого сечения русла реки льдом. Определяющим фактором формирования заторов является толщина льда в конце зимнего сезона на водотоке, которая определяется термическим режимом зимнего сезона и особенностями снегонакопления (в частности, по формуле Ф.И. Быдина) (Быдин, 1933). Механизм формирования ледяного покрова и возникновения заторов изложен в книге Р.В. Донченко «Ледовый режим рек СССР» (Донченко, 1987), где предложены методы расчета характеристик ледового режима рек в зависимости от термических условий зимнего периода и условий снегонакопления. Так, в частности, в (Донченко, 1987) показано, что заторные явления характерны для рек, где вскрытие происходит в результате разрушения относительно прочного ледяного покрова силой потока, что имеет место, если половодье начинается в верхней части бассейн. Это возможно в частности, на таких крупных реках, текущие с юга на север как Лена, Енисей, Иртыш, Печора, Северная Двина и др.

Предложена методика оценки толщины ледяного покрова и степени затороопасности на реках на основании стандартных метеоданных (Специализированный массив…) и проведена ретроспективная оценка толщины ледяного покрова и степени затороопасности для рек севера территории России для начала XXI столетия. Оценка динамики толщины производилась по пошаговой схеме на основании зависимости скорости роста льда через градиент температуры в нем (Голубев, 2000). Градиент температуры во льду характеризовался по уравнению Фурье для теплового потока через отношение теплового потока и коэффициента теплопроводности. Коэффициент теплопроводности оценивался по формуле теплопроводности многослойной среды (снежного и ледяного покрова). Расчетная схема нарастания льда представляет собой физико-математическую модель и позволяет воспроизводить динамику толщины льда зимнего сезона с разрешением в одни сутки. Расчетная схема динамики нарастания льда превосходит по точности формулу Ф.И. Быдина, позволяющую оценивать толщину льда на основе количества отрицательных градусодней за зимний сезон. Затороопасным предполагается считать зимний сезон, когда значение толщины льда на конец зимнего сезона превосходит подобные многолетние значения на 20%. Рассмотрение динамики нарастания льда по предложенной расчетной схеме позволяет оценивать толщину льда в конце текущего зимнего сезона, что необходимо для оценки затороопасной обстановки на период ледохода. Для оценки толщины льда в конце зимнего сезона на вход расчетной схемы подаются метеорологические данные о режиме температуры воздуха и снегонакопления (толщины снежного покрова) для зимнего сезона. Среднесезонные значения этих входных величин (температуры воздуха и толщины снежного покрова) могут быть охарактеризованы

многолетними трендовыми изменениями и межгодовыми вариациями. Оцениваемая толщина льда в конце зимнего сезона также обладает трендовыми изменениями и межгодовыми вариациями, причем средние значения межгодовых вариаций на порядок превосходят трендовые изменения.

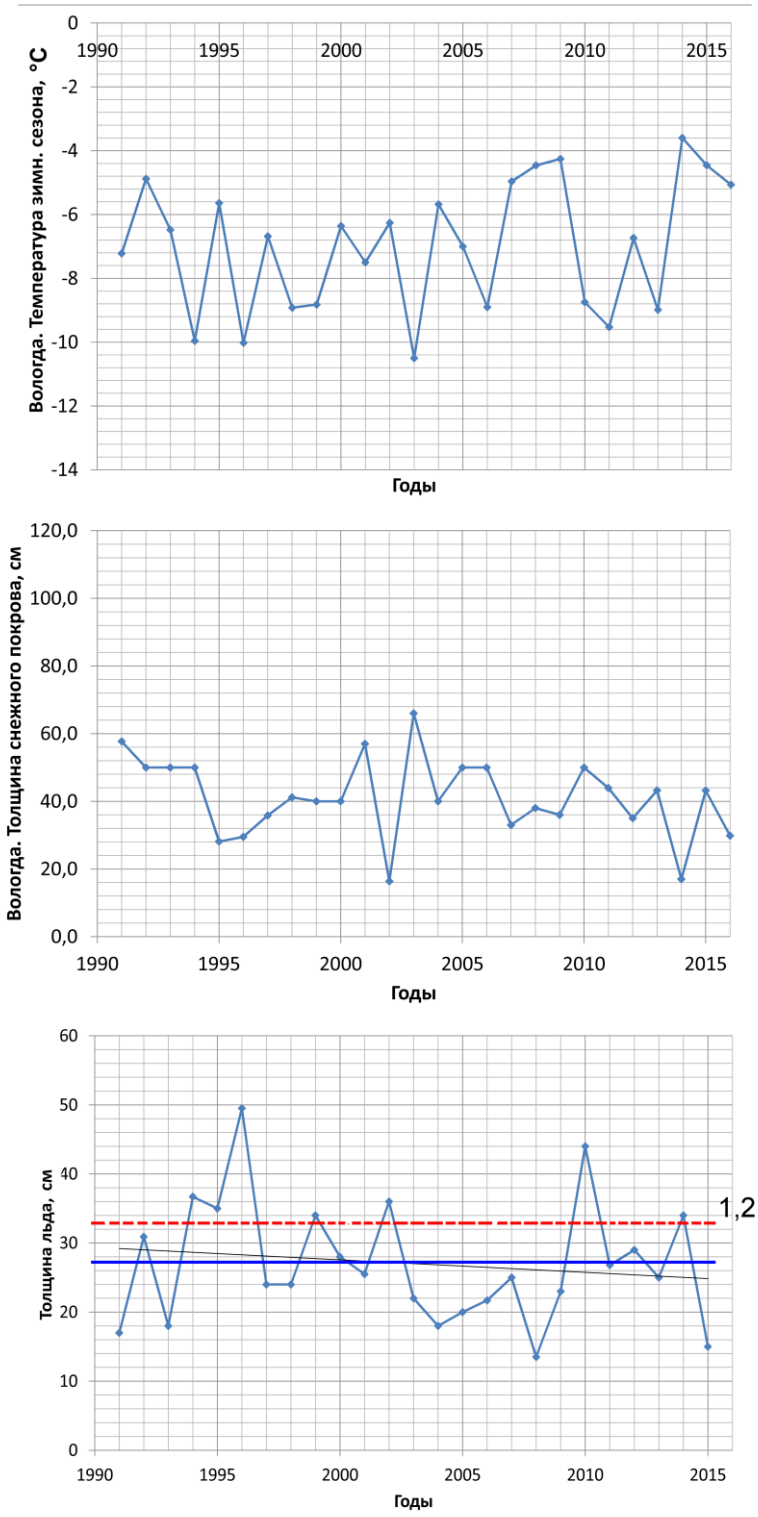


Рис. 1 Изменение температуры и толщины снежного покрова в Вологде, а также оцененной толщины намерзания льда на р. Сухона за 1990-2015 г. Пунктирной линией указано превышение на 20% от средней толщины льда за 1990-2015 г.

Возможность возникновения заторопасных ситуаций показана на графике на Рис. 1. Значения оцениваемой толщины льда, превышающие на 20% среднее значение, отделены пунктирной линией. Согласно (Агафонова, Фролова, 2016), за последние 30 лет максимальные заторные уровни воды на данном участке превысили отметку неблагоприятного явления (720 см над нулем поста) 7 раз: в 1991, 1992, 1998, 2005, 2010, 2013 и 2016 гг. Так по данным гидрологического поста (гп) Великий Устюг, с 1991 по 2016 гг. в узле слияния рек Сухона и Юг произошло 1 наводнение, превысивших 8-метровую отметку (1991 гг.) и 3 наводнения (1998, 2013 и 2016 гг.), превысивших 9 м над «нулем» поста.

Несоответствие возможности возникновения заторопасной ситуации, основанной на оценке толщины льда на момент ледохода позволяет сделать вывод, что важную роль имеют также водозапас снежного покрова и интенсивность снеготаяния. Также немалую роль имеет зависимость теплопроводности снежной толщи от её строения и структуры. Несоответствие оценки заторопасной ситуации вызвано допущением сплошности и равномерности свойств теплопроводящей среды (снежного покрова). Так, для снежного покрова принято среднее значение плотности и теплопроводности, что по закону Фурье дает линейное изменение температуры в среде. При этом в оценочной схеме учитывается лишь толщина снежного покрова, а температура рассчитывается только на границах сред (снежного покрова с атмосферой и льдом). В реальности снежный покров не является сплошной средой, а состоит из ледяного скелета (с кондуктивной теплопроводностью) и порового пространства, в котором испаряется и конденсируется водяной пар, перенося тепло от теплого к холодному (скрытый теплоперенос). Кроме того, в снежной толще возможны неоднородности типа уплотнённых корок. Благодаря этому теплопроводность снежного покрова может меняться в два раза.

В дальнейшей работе предполагается учитывать особенности накопления снежного покрова: формирование слоев различной плотности и горизонтов уплотнения. Однако, для выполняемой региональной оценки толщины намерзания льда, когда локальные свойства снежной толщи сильно зависят от микроклимата и микрорельефа, предложенная расчетная схема может быть вполне удовлетворительной.

Расчетная схема

Расчет нарастания льда снизу на льде водоема, покрытого снегом в зимний период, на основе данных о ежедневно температуре воздуха и толщине снежного покрова показывает интенсивность роста толщины ледяного покрова в этот период времени. Зависимость скорости роста льда от градиента температуры во льду выражается, как $V=6{,}65(\mathrm{grad}\ T_л)$ (см/сутки) (Голубев, 2000). Согласно (Михеев, Михеева, 1977) тепловой поток выражается через градиент температуры как $F=\lambda\ (\mathrm{grad}\ T)$, а теплопроводность и тепловой поток через комбинацию из двух сред (снег и лед) может быть представлена:

$$F = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{\Delta x_c}{\lambda_c} + \frac{\Delta x_л}{\lambda_л} \right)},$$

Т.е. скорость нарастания льда за сутки определялась как:

$$V = 6{,}65 grad T_л = 6{,}65 \frac{\Delta T}{\lambda_л \left(\frac{\Delta x_c}{\lambda_c} + \frac{\Delta x_л}{\lambda_л} \right)}$$

Вычисления производили с шагом в один день, на начало расчета принималось, что толщина льда равна 0,5 см.

Список литературы

Быдин Ф.И. Зимний режим рек и методы его изучения. Л. Гос. Гидрологический институт, 1933, 237 с.

Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 246 с.

Голубев В.Н. Структурное ледоведение. Строение конжеляционных льдов. — М.: Изд-во МГУ, 2000. — 88 с.

Михеев М.А. Основы теплопередачи. Изд. 2-е / М.А. Михеев, И.М. Михеева. - М.: Энергия, 1977. – 344 с.

Специализированные массивы климатических исследований http://aisori.meteo.ru/ClimateR

Агафонова С.А., Фролова Н.Л Заторные наводнения на р. Сухона в районе г. Великий Устюг в главе 2 Гидрологический режим и экстремальные гидрологические ситуации в устьевых областях арктической зоны в монографии Меняющийся климат и социально-экономический потенциал российской Арктики. (Том. 2) 2016 г https://elibrary.ru/item.asp?id=28398061

Estimation of spring ice blockage danger on the rivers of north of Russia on the data on thermal regime of winter season and peculiarities of snow accumulation

Golubev V.N., Frolov D.M.

Moscow State University, Moscow

golubev@geol.msu.ru, denisfrolovm@mail.ru

Abstract: On the basis of data on thermal regime of winter season and peculiarities of snow accumulation regime according to the formula with daily resolution conducted retrospective estimation of ice thickness in the Basin of North Dvina River and spring ice blockage danger for the ice motion period of 1990-2015.

Keywords: Ice blockage, ice thickness, snow cover thickness, winter season temperature.

Механизм оттаивания и обрушения берегов меандрирующей реки в криолитозоне

***Долгополова Е.Н.*[1], Грицук И.И.[1, 2], Масликова О.Я.[1], Замятина Э.В.[1]**
[1]*Институт водных проблем РАН, Москва*
[2]*Российский Университет Дружбы Народов, Москва*
dolgopolova@gmail.com

Аннотация: Исследуются закономерности оттаивания берегов меандрирующей реки в зоне многолетнемерзлых пород. Работа выполнена коллективом авторов ИВП РАН в гидравлической лаборатории РУДН. Приводится краткий обзор гидрологического режима рек водосбора Северного ледовитого океана, использующийся для постановки лабораторных экспериментов. Разработана методика моделирования выпуклого и вогнутого берегов потока, состоящих из мерзлого грунта различной структуры. Представлены результаты экспериментальных исследований оттаивания выпуклого и вогнутого берегов потока.

Ключевые слова: река, устье, многолетнемерзлые породы, таяние, физическое моделирование

Введение

Большая часть территории бассейнов рек Восточной Сибири, Аляски и северо-запада Канады находятся в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП) с разными свойствами (сплошные, прерывистые, островные). Известно, что льдистая основа ландшафтов является стабилизирующим фактором при естественной эволюции, но усугубляет разрушение естественных ландшафтов при техногенных нагрузках. При анализе и сравнении гидролого-морфологического режима устьев рек зоны ММП обнаружены примеры скачкообразного развития эрозионных процессов в устьях, в частности ямы размыва русел рукавов дельты р. Маккензи такой глубины (более 30 м), образование которых невозможно объяснить прорывом заторов (Beltaos et al., 2011). Причины и механизм образования этих размывов пока не выяснены, однако, в работе (Долгополова, Исупова, 2014) сделано предположение о связи глубоких размывов с процессом термокарста и динамическим воздействием речного потока на дно и берега при прохождении волны половодья.

В настоящее время делаются многочисленные попытки исследования свойств ММП при изменениях климата, и их влияние на морфологию устьев рек, расположенных на Арктическом побережье, например, в работах (Walvoord and Kurylyk, 2016; Lebedeva et al., 2015). Сток наносов и устойчивость к размыву берегов рек и проток устьев определяется свойствами грунта климатическими факторами, причем большее влияние оказывает зимний сезон. Состояние ММП в природе характеризуется следующими параметрами: среднегодовая температура грунта, глубина залегания нижней границы (вертикальная мощность), глубина сезонно-талого слоя и льдистостью мерзлых грунтов. Изучение свойств ММП, их оттаивания, обрушения и замерзания в природе связано со многими трудностями, поэтому в рамках проекта «Физическое моделирование трансформаций речных берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами» в лабораториях РУДН и ИВП РАН разрабатывается методика исследований ММП, и проводятся эксперименты по исследованию взаимодействию потока с мерзлыми грунтами берегов.

Материалы и методы

Исследовались закономерности таяния и обрушения берегов, сложенных мерзлыми грунтами, на повороте русла. Эксперименты проводились в кольцевом лотке (внешний радиус 0.75 м, внутренний – 0.35 м, ширина потока 0.4 м, число Рейнольдса $Re = 6.4 \cdot 10^3$ –

$1.4 \cdot 10^4$. Выпуклый берег формировался вдоль внутренней стенки лотка, а вогнутый – у внешней стенки. Использовался калиброванный люберецкий песок (d = 0.2 мм). При моделировании использовались блоки (18-28.6 см), имитирующие мерзлый грунт, лед-цемент с линзообразными прослойками чистого (сегрегационного) льда, повторно-жильный лед и льды со слоистой текстурой, которые развиваются в сильно увлажненных тонкодисперсных и песчаных мелкозернистых, пылеватых грунтах различного генезиса (пойменных, солифлюкционных, морских, озерных отложениях). Формы для замораживания блоков обеспечивали угол берегового откоса α=19°. Блоки мерзлого грунта получались при замораживании песка максимальной влажности в формах для выпуклого и вогнутого берегов, что обеспечивает максимальную льдистость грунта. Изготавливались также блоки, имитирующие полигональную породу, состоящую из горизонтальных слоев чистого льда и мерзлого грунта двух видов: чистый лед (нижний слой) и замороженный песок (верхний), и слой льда между слоями замороженного песка (толщина каждого слоя 2 см). У выпуклого и вогнутого берегов блоки чередовались: сначала 2-х и за ним трехслойный блок. Исследовались различия в таянии выпуклого и вогнутого берегов, сложенных грунтами разной структуры, измерялась скорость протаивания грунта.

Результаты

В результате сравнительных экспериментов получено, что скорость размыва чистого льда примерно в 1.5 раза больше, чем мерзлого грунта, независимо от того, на каком берегу находится лед, а на каком грунт. Исследование таяния выпуклого и вогнутого берегов, сложенных мерзлым грунтом, показало, что скорость их оттаивания подчиняется экспоненциальным зависимостям:

$$h' = 0.16 e^{0.86 t'}, \quad h'' = 0.11 e^{1.12 t'}$$

с высоким коэффициентом достоверности R^2 =0.93 (h, h_1, h_2 глубина потока и глубины протаивания, $h' = h_1/h$, $h'' = h_2/h$, $t' = t/t_0$, t_0 – время эксперимента) При меньшей скорости U выпуклый берег оттаивает быстрее, чем вогнутый (Рис.1).

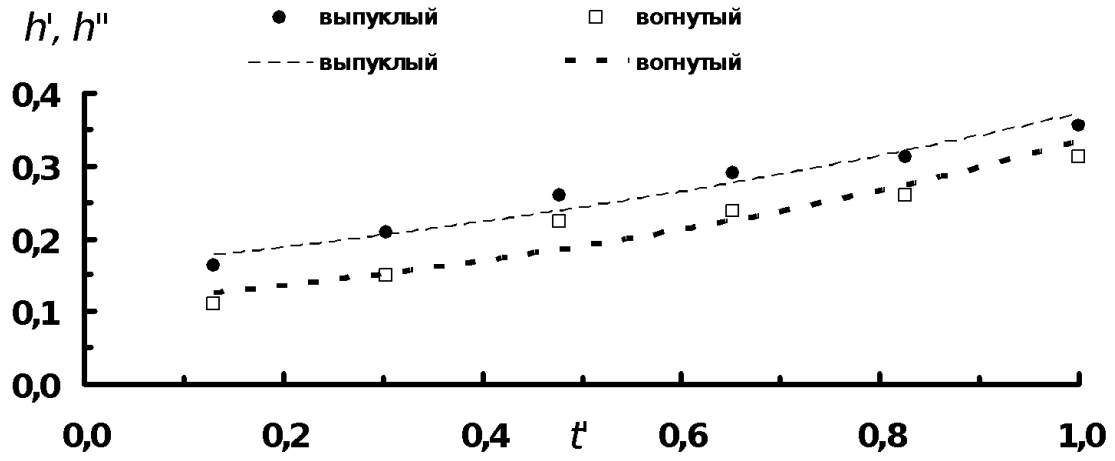


Рис. 1. Скорость изменения относительной глубины протаивания мерзлых берегов потока (выпуклого и вогнутого).

При увеличении средней скорости потока в 2 раза (U_1=0.1, U_2=0.2 м/с) начальные глубины протаивания больше, а потом они уменьшаются. Такое различие естественно, так как сначала оттаивание происходит быстрее из-за $U_2 > U_1$, а при $t' > 0.5$ начинается движение и снос оттаявшего грунта, что уменьшает измеренную глубину оттаивания.

Увеличение глубины протаивания обоих берегов описывается линейным законом с коэффициентом достоверности R^2 =0.85:

$$h' = 0.24t' + 0.08.$$

Выпуклый берег потока эксперимента оттаивает равномерно, не меняясь внешне, вогнутый берег при скорости потока U_2 и t/t_0=0.2 в середине эксперимента образовал карниз, который сполз к концу эксперимента, образовав вертикальную ступеньку. Скорость оттаивания выпуклого и вогнутого берегов одинакова. Исследования изменения глубины протаивания в зоне сплошного распространения ММП на Аляске показали (Scott, 1978), что она также растет линейно в зависимости от времени, что подтверждает правомерность разработанной методики.

Льды многослойной структуры широко распространены в Восточной Сибири и на Аляске. В экспериментах с блоками, имитирующими полигональную структуру породы, блоки, состоящие из двух слоев протаивали первыми, верхний слой мерзлого грунта сползал по растаявшему слою льда в воду, и к моменту времени t/t_0 0.5–0.6 они практически растаяли. Мерзлый грунт, поступающий в поток, оттаивает и служит источником материала для формирования песчаных гряд на горизонтальном участке дна потока. Скорость увеличения толщины талого слоя выпуклого и вогнутого берегов потока, состоящих из многослойных блоков практически одинакова. Скорость таяния двухслойных блоков существенно превышала скорость трехслойных. У выпуклого берега в результате обрушения мерзлого слоя песка образовался практически отвесный обрыв. Эрозия берега происходит скачкообразно за счет сползания больших кусков грунта в поток. У вогнутого берега в трехслойном блоке образовалась ниша вытаивания. Такие ниши никогда не наблюдались у выпуклого берега. Образование ниш вытаивания преимущественно у вогнутого берега наблюдается у меандрирующих рек Аляски (Scott, 1978), где вызывает обрушение и значительное отступание берегов.

Выводы

В результате моделирования выпуклого и вогнутого берегов потока, сложенных мерзлым грунтом получено:

- скорость оттаивания чистого льда в 1.5 раза превышает скорость оттаивания мерзлого грунта максимальной льдистости, и не зависит от того на каком берегу потока находился грунт;
- при большой скорости модельного потока скорость оттаивания мерзлого грунта на выпуклом и вогнутом берегах практически одинакова, и глубина оттаивания линейно растет со временем;
- двухслойные блоки (лед, замороженный песок) оттаивают первыми в результате быстрого таяния слоя льда и сползания грунта в поток;
- в результате оттаивания берегов многослойной структуры у вогнутого берега потока образуется ниша вытаивания, приводящая к скачкообразной эрозии берега, у выпуклого берега образуется обрыв.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 16-08-00595.

Список литературы

Долгополова Е.Н., Исупова М.В. Влияние многолетнемерзлых грунтов на гидрологоморфологические процессы в устьях рек Лена и Маккензи // Инженерная экология. Т. 118, 2014. № 4. С. 10–26.

Beltaos S., Carter T., Prowse T. Morphology and genesis of deep scour holes in the Mackenzie Delta // Can. J. Civ. Eng. 2011. V.38. P. 638–649.

Lebedeva L.S., Semenova O.M., Vinogradova T.A. Hydrological modeling: seasonal thaw depths in different landscapes of the Kolyma water balance station (part 2) // EARTH'S CRYOSPHERE (Kriosfera Zemli), 2015, vol. XIX, No. 2, pp. 32–39.

Scott K. M. Effects of Permafrost on Stream Channel Behavior in Arctic Alaska // Geological Survey professional paper 1068. 1978. Washington: United States Government Printing Office. P. 1 – 19

Walvoord M. A., Kurylyk B. L. Hydrologic Impacts of Thawing Permafrost—A Review // Soil Science Society of America. 2016. V. 15. №. 6. 20 p.

Mechanism of thaw and slumping of the banks of meandering river in cryosphere

***Dolgopolova E. N.*[1], Gritsuk I.I.[1,2], Maslikova O.Ya.[1], Zamyatina E.V.[1]**

[1]*Water problem institute of RAS, Moscow,*

[2]*RUDN University of Russia, Moscow*

dolgopolova@gmail.com

Abstract: For definition of the problem we present a short review of hydrologic regime of rivers inflowing into the Arctic Ocean. The thaw of frozen ground at the banks of meandering rivers plays essential role in morphology of the river mouths in cryosphere. The experimental procedure of modeling of frozen banks of the flow was worked out by team of the researches from WPI RAS. The experiments for modeling of thaw of frozen banks of the river were performed in RUDN University laboratory flume. The annular flume with the width of 0.4 m was used. To produce blocks modeling permafrost of different structure we used special metallic forms for convex and concave banks the flume. The rate of thawing of convex bank composed of frozen ground slightly exceeds that of concave bank for smaller flow velocity, whereas the changes of thawing depth of convex and concave banks are the same for the larger velocity of the flow. The use of multilayered blocks at the banks of the flow enables us to reveal the quick thawing of two-layer blocks (ice, frozen soil), providing the material for sand waves at the bottom of the flume. The thawing of the 3-layer block (ice between the layers of frozen soil) at the convex bank resulted in the slumping of the bank and formation of a steep. The thawing of the same block at the concave bank leads to niche formation and spasmodic development of bank erosion.

Keywords: permafrost, thaw, river, river mouth, laboratory modeling

Экологически безопасная технология отработки подрусловых россыпных месторождений Севера

***Каймонов М. В.*, Киселев В. В., Хохолов Ю. А.**
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН
gtf@igds.ysn.ru

Аннотация: Предложен способ отработки подрусловых россыпей криолитозоны. Способ отличается экологической безопасностью, использованием традиционных технологий горного дела. Способ включает в себя отработку подрусловых россыпей в зимнее время посредством строительства ледяной плотины поперёк русла реки. Весной плотина разрушается и обеспечивает беспрепятственный сток воды и проход рыбы к местам нерестилищ. Приведена математическая модель процесса намораживания ледяной плотины. Проведены необходимые расчёты и показаны оптимальные режимы возведения ледяной плотины.

Ключевые слова: Россыпные месторождения, ледяная плотина, подрусловые россыпи, вскрышные работы, математическое моделирование

Применение традиционных технологий разработки месторождений при отработке подрусловых россыпей криолитозоны, расположенных в каньонообразных долинах рек, невозможно или нерентабельно по целому ряду причин. Расположение россыпных месторождений в долинах рек осложняет их освоение в части охраны водных объектов от загрязнения и истощения биоресурсов. Основные требования по рациональному использованию и охране поверхностных вод сведены в Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ. Поэтому отработка месторождения дражным способом исключается по экологическим соображениям. Для разработки таких россыпей Институтом горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН разработан оригинальный способ, осуществляемый в зимний период с использованием серийно изготавливаемых высокопроизводительных механизмов, установок и транспортных средств, основными преимуществами которого являются: обеспечение высоких объемов годовой добычи горной массы за счет применения высокопроизводительных технологий; удлинение сезона ведения работ и занятости горнорабочих; обеспечение чистоты вод реки и долины; возможность беспрепятственного прохода рыбы на места нерестилищ (Курилко А.С. и др., 2009).

Разработку подрусловой россыпи (рис. 1) предполагается осуществлять в зимнее время при резком сокращении или полном прекращении речного стока, начиная с верховьев реки, с разбивкой её на участки, отрабатываемые в течение одного сезона (года). Предварительно в верхней части отрабатываемого участка в зимний период методом послойного намораживания (Шаталина И.Н., 1990) возводится ледовая плотина расчетной высоты, которая, проседая под собственным весом, перекрывает сток вод.

Одновременно со строительством ледяной плотины выше по течению сооружается зумпф для сбора грунтовых вод, которые периодически откачиваются насосом, установленным в обогреваемом помещении, и используются для возведения плотины. Затем (при необходимости) производится осушение участка россыпи путем откачки воды, распиловка и уборка льда, после чего обнаженные подрусловые отложения промораживаются естественным холодом, разрыхляются и срезаются послойно по мере промерзания бульдозерами с применением технологий горного дела (Курилко А.С. и др., 2009).

Срезанные вскрышные породы (торфа) доставляются в приемный бункер и с помощью крутонаклонного конвейера (или скипа) поднимаются на борт долины, где выкладываются в отвалы.

После проведения вскрышных работ, срезаемые тем же способом пески, доставляются в другой приемный бункер и поднимаются конвейерами (или скипами) на другой борт

долины, где выкладываются во временные отвалы с последующей транспортировкой их к сезонной стационарной промывочной установке, находящейся за пределами долины.

Рекомендуемый способ разработки россыпи предполагает первоочередное возведение ледяной дамбы (плотины) в сжатые сроки, без чего невозможно ведение горных работ, что требует строгого выполнения в определенном режиме ряда технологических операций.

Строительство гидротехнических сооружений в северной строительно-климатической зоне требует решения целого ряда вопросов прогнозирования теплофизического характера при их возведении в зимних условиях и в первую очередь – определение скорости замерзания. Наличие таких данных будет способствовать удешевлению работ, экономии энергетических ресурсов и материалов, ускорению процессов возведения с применением "ледяной" технологии, повышения надежности возводимых сооружений, защиты окружающей среды. "Ледяная" технология занимает сегодня вполне определенное место в технике, энергетике, строительстве в условиях многолетней мерзлоты, транспорте и т.д.

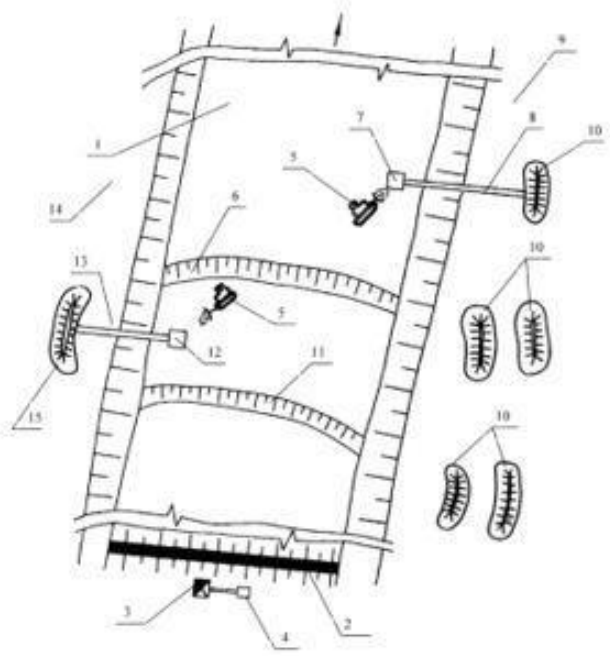


Рис. 1 Способ разработки подрусловой россыпи в условиях криолитозоны: 1 - подрусловая россыпь; 2 - ледовая дамба (плотина); 3 - зумпф для сбора воды; 4 - насос для откачки воды; 5 - бульдозеры; 6 - торфа (пустые породы); 7 - бункер для погрузки торфов; 8 - крутонаклонный конвейер для подъема торфов; 9 - борт каньонообразной долины; 10 - отвалы торфов; 11 - пески, содержащие ценный компонент; 12 - бункер для погрузки песков; 13 - крутонаклонный конвейер для подъема песков; 14 - борт речной долины; 15 - временный отвал песков.

Как следует из вышесказанного одним из основных факторов, определяющих возможность раннего начала ведения добычных работ на разрабатываемой в зимний период подрусловой россыпи, является обеспечение высокой скорости послойного намораживания ледовой плотины, сокращая тем самым сроки её возведения. В этих целях, для определения рациональных режимов ведения работ, разработана специальная математическая модель послойного намораживания плотины, которая учитывает толщину замораживаемого водного слоя, фазовые переходы вода-лед, нестационарный теплообмен поверхности водного слоя с атмосферным воздухом, динамику температуры наружного воздуха в течение зимнего периода (Курилко А.С. и др., 2011).

Для разработки математической модели расчета температурного режима ледяной плотины примем следующие упрощающие допущения:

1. Поскольку геометрические размеры основания плотины в несколько раз превышают его высоту, то процесс распространения тепла в её рассматривается только по высоте, в соответствии с известным положением А.В. Лыкова (Лыков А.В., 1969), согласно которому, если один из размеров тела не менее, чем в три раза меньше остальных его размеров, то процесс переноса тепла, идущий в направлении наименьшего размера, можно считать одномерным.
2. Промежуток времени, затрачиваемый на заливку слоя воды, не учитывается, т.е. считается, что каждый слой появляется мгновенно в момент начала этого промежутка.
3. Начальная температура залитого водного слоя принимается равной +1°С.
4. Очередной слой заливается после того, как замерзнет (на всю высоту) ранее уложенный слой воды.
5. Теплообмен на поверхности слоя с атмосферным воздухом определяется по закону Ньютона с коэффициентом теплообмена α.

Процесс распространения тепла с учетом фазовых переходов воды описывается следующим уравнением (Тихонов А.Н., Самарский А.А., 1977):

$$\left[C(T)+L_{\phi}\cdot W\cdot\rho\cdot\delta(T-T^{*})\right]\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right],$$

$$C=\begin{cases}c_1\rho_1;T<T^{*};\\ c_2\rho_2;T>T^{*};\end{cases}\qquad \lambda=\begin{cases}\lambda_1;T<T^{*};\\ \lambda_2;T>T^{*};\end{cases} \tag{1}$$

$$\{0<x<H_k,\ \ H_k=H_{k-1}+h\kappa,\ k=1,2..M;\ \ 0<t\le T\};$$

здесь $H=H_0+H_{пл}$, H_0 – начальная толщина подстилающего слоя на который начинается намораживание льда, м; $H_{пл}$ – высота ледяной плотины, м; $H_{пл}=\sum_{k=1}^{M}h_k$; h_k – толщина намораживаемого единичного слоя ледяной плотины, м; k – порядковый номер намораживаемого слоя льда; M – количество намораживаемых слоев льда; T – температура воды (льда), °С; T^* – температура фазовых переходов влаги, °С; t, x – временная и пространственная координаты, с и м соответственно; L_{ϕ} – скрытая теплота плавления (замерзания) льда (воды), Дж/кг; W=1; ρ - плотность воды, кг/м^3; c_1, ρ_1, λ_1 (c_2, ρ_2, λ_2) – удельная теплоемкость (Дж/(кг·К)), плотность (кг/м^3) и коэффициент теплопроводности (Вт/(м·К)) соответственно для льда (воды); $\delta(T-T^*)$ – функция Дирака.

Фазовые переходы вода-лёд учитываются с помощью δ – функции Дирака.

Выбор толщины единичного слоя h_k определяется минимально возможным относительным временем его намораживания.

В начальный момент времени задается распределение температур:

$$T(x,0)=T_0,\quad 0<x<H_0. \tag{2}$$

На поверхности $x = H_k$ ($H_k=H_{k-1}+h\kappa$, $k=1,2..M$) задается граничное условие III рода:

$$\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x}=\alpha\left(T-T_B(t)\right),\qquad t\ge 0 \tag{3}$$

где α – коэффициент конвективного теплообмена воздуха с поверхностью плотины, Вт/(м^2·К).

На границе $x = 0$ температура принимается равной естественной температуре пород:

$$T(0,t)=T_e. \tag{4}$$

На поверхности соприкосновения двух слоев H_{k-1} и H_k ($k=1,2,\ldots,M$) зададим условие равенства температуры и плотностей теплового потока, т.е. граничное условие IV рода:

$$T_{k-1}=T_k,\quad \lambda_{k-1}\frac{\partial T_{k-1}}{\partial x}\Big|_{сл}=\lambda_k\frac{\partial T_k}{\partial x}\Big|_{сл}. \tag{5}$$

Для решения задачи теплообмена ледяного массива с атмосферным воздухом (1)-(5) используется метод конечных разностей, а именно метод сквозного счета со сглаживанием коэффициентов (Самарский А.А., Моисеенко Б.Д., 1965; Самарский А.А., 1983; Самарский А.А., Вабищевич П.Н., 2003).

На основе разработанной программы для ПЭВМ, были проведены численные расчёты ряда параметров послойного намораживания ледяной плотины для вышеописанного способа разработки россыпного месторождения в условиях криолитозоны.

В табл. 1 приведены результаты расчета сроков окончания сооружения ледяной плотины при разных значениях толщины заливаемого слоя, при условии, что сооружение плотины начинается с 1 октября. Как видно из таблицы, по мере возрастания толщины заливаемого слоя, увеличиваются сроки возведения плотина. Так при толщине заливаемого слоя d = 0,1 м плотина достигнет высоты H = 2 м к 6-му ноября; при d = 0,2 м – к 11-му ноября; при d = 0,3 м – к 19-му ноября; при d = 0,4 м – к 25-му ноября, т.е. возведение плотины в кратчайшие сроки обеспечивается при минимальной толщине намораживаемого слоя.

Таким образом, видно, что уменьшение толщины намораживаемого слоя с 0,4 до 0,1 м приводит к сокращению сроков строительства ледовой плотины высотой 4 м на четыре недели и, соответственно, на этот период могут быть сдвинуты сроки начала ведения горных работ на россыпи, что немаловажно.

Расчеты показали, что в районах с суровым климатом, таким как территория Якутии, в принципе возможно и целесообразно возводить ледяные сооружения (плотины) путем послойного намораживания. За зимний сезон можно возвести ледяную плотину высотой 4 и более метров.

Поскольку сроки возведения послойно намороживаемой плотины сокращаются, по мере того как уменьшается высота заливаемого слоя, нужно заливать его наименьшей толщины, насколько это технически возможно. Оптимальным по условиям заливки и промораживания можно считать толщину слоя в пределах 0,2 м.

С наступлением весны и окончанием добычных работ на россыпи, ледовая плотина разрушается любым способом, а лед уносится и растаивает вешними водами. В летний период ведутся работы по обогащению добытых песков, а с началом зимнего периода приступают к отработке тем же способом следующего участка.

Табл. 1 Сроки окончания сооружения ледяной плотины при разных значениях толщины намораживаемого слоя льда

Высота плотины, м	**Толщина намораживаемого слоя льда, м**			
	0,1	**0,2**	**0,3**	**0,4**
2 м	6 ноября	11 ноября	19 ноября	25 ноября
3 м	15 ноября	21 ноября	3 декабря	10 декабря
4 м	21 ноября	30 ноября	13 декабря	19 декабря

Основные преимущества предлагаемого способа:

- длительность сезона ведения работ (≈ 7 месяцев);
- относительная дешевизна и простота монтажа вновь приобретаемого оборудования;
- отсутствие загрязнения и взмучивания воды;
- возможность прохода рыбы на нерест;
- использование естественного природного материала (льда) и ресурса криолитозоны – атмосферного холода для сооружения плотины и промораживания подрусловых отложений;
- отсутствие необходимости ведения рекреационных работ в долине реки;
- круглогодичная занятость рабочих приисков;
- легкость возведения и последующего разрушения (в весенний период) ледовой плотины;
- простота технологических операций и высокая механизация всех видов работ.

Список литературы

Пат. № 2349755 РФ, МПК Е 21 С 41/30. Способ разработки подрусловой россыпи в условиях криолитозоны / Курилко А.С., Хохолов Ю.А., Киселев В.В., Каймонов М.В.; заявитель и патентообладатель ИГДС.-№2007112721/03; заявл. 05.04.07; опубл. 20.03.09, Бюл. № 8. –5 с.:ил.

Шаталина И.Н. Теплообмен в процессах намораживания и таяния льда. – Ленинград: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1990. – 120 с.

Курилко А.С., Ермаков С.А., Хохолов Ю.А., Каймонов М.В., Бураков А.М. Моделирование тепловых процессов в горном массиве при открытой разработке россыпей криолитозоны. – Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2011. – 140 с.

Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высш. школа, 1967. – 599 с.

Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977. – 736 с.

Самарский А.А., Моисеенко Б.Д. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журнал вычисл. математики и мат. физики. – 1965. – Т. 5. – № 5. – С. 816- 827.

Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

Ecologically safe technology for mining alluvial placer deposits of the North

***Kaimonov M.V.*, Kiselev V.V., Khokholov Y.A.**
Mining Institute of the North, SB RAS
gtf@igds.ysn.ru

Abstract: A method for working out placer placers in the permafrost zone is proposed. The method is environmentally friendly, using traditional mining technologies. The method includes working off the subterranean placers in the winter time by building an ice dam across the river bed. In the spring, the dam collapses and provides unhindered flow of water and passage of fish to spawning sites. A mathematical model of the process of freezing an ice dam is given. The necessary calculations have been made and the optimal modes of erection of an ice dam have been shown.

Keywords: Alluvial deposits, ice dam, subsoil placers, stripping works, mathematical modeling

Возможности использования космических снимков для исследования ледяного покрова рек

***Колий В.М.*, Агафонова С.А.**
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва
vkolii@yandex.ru

Аннотация: В работе рассмотрены возможности использования данных оптических космических снимков для целей ледового мониторинга на примере участка р. Лена выше и ниже впадения р. Олекма (от г. Олекминск до с. Солянка). Были отобраны 60 снимков спутников Landsat 8 и Sentinel 2 с апреля 2013 г. по ноябрь 2017 г. за осенние (октябрь, ноябрь) и за весенние месяцы (март, апрель, май). Для контроля результатов дешифрирования использовались данные наблюдений на гидрологических постах. Обработка снимков проводилась в программе ArcGis. Отработаны различные комбинации каналов, в том числе ИК и тепловых. В результате использование двух синтезов («естественного цвета» (красный-зеленый-синий) и «искусственного цвета» (ближний ИК-красный-зеленый) было принято оптимальным для данных условий. Выявлено, что анализ полученных изображений позволяет картировать ледовую обстановку на реках, выделять границы заберегов, фиксировать густоту ледохода (шугохода), появления воды на льду и весеннего разрушения льда. Получена серия ледовых карт, отмечены особенности замерзания и вскрытия р. Лена между гп Олекминск и Солянка. В работе описаны основные особенности ледовой обстановки, полученные в результате анализа снимков. Выявлено влияние малых притоков, особенно в весенний период. Отмечены отличия в замерзании рр. Лена и нижнего течения р. Олекма. Выделена различная структура ледяного покрова по длине реки в первые дни после установления ледостава и в период весеннего разрушения ледяного покрова. Учитывая преобладание ясной солнечной погоды в период с ледовыми явлениями для исследуемого участка, оптические снимки могут стать основой космического ледового мониторинга в данном районе.

Ключевые слова: ледяной покров на реках, космический мониторинг, р. Лена

Введение

В данной работе исследовалась возможность использования различных синтезов каналов оптических спутников для дешифрирования ледовой обстановки на реках. Современная система наблюдения за ледовым режимом рек ведется, прежде всего, на сети постоянно действующих и временных постов Росгидромета. Стандартные наблюдения включают ежедневные визуальные наблюдения за ледовой обстановкой и состоянием ледяного покрова, а также измерение толщины льда, шуги и снега на льду каждые 5–10 дней. Кроме того, проводятся рекогносцировочные обследования, авиаразведки. В последние годы для ледового мониторинга рек все чаще используются данные космических снимков, как оптических и радиолокационных.

Например, в проекте IceFRONT для оперативного ледового мониторинга используются радиолокационные и оптические снимки. Одна из частей проекта – работа с оптическими снимками (MODIS и Landsat-8), которые находятся в свободном доступе. Также используются снимки Radarsat-2 и TerraSAR-Хб позволяющие осуществлять всепогодный мониторинг (Gauthier et al, 2015). В Северном УГМС, начиная с 2009 г. ежегодно ледовый мониторинг включает анализ радиолокационных снимков Radarsat, Envisat, Sentinel 1 (Скрипник, 2011).

Необходимость использования информации, получаемой с помощью анализа космических снимков, обусловлена тем, что в условиях сокращении сети наблюдений

данных одних гидрологических постов недостаточно для полного анализа пространственно-временной изменчивости характеристик ледяного покрова. Стоит отметить, что космический ледовый мониторинг актуален, прежде всего, для крупных рек. Развитие современных дистанционных методов открывает широкие возможности для получения принципиально новых знаний о ледяном покрове рек.

Материалы и методы

В данной работе использованы многоканальные снимки спутников Landsat 8 и Sentinel 2 (в условиях облачности менее 30%). Спутники оснащены оптико-электронной съемочной аппаратурой, которая регистрирует электромагнитное излучение в ультрафиолетовом, видимом или инфракрасном зонах спектра. Спутники Landsat 8 и Sentinel 2 имеют 11 и 13 каналов съемки соответственно. Разрешение для разных каналов спутника Landsat 8 составляет от 15 до 100 м, для спутника Sentinel 2 – от 10 до 60 м. Период повторной съемки спутника Landsat 8 – 16 сут, 2-х спутников миссии Sentinel 2 – 3 сут.

Исследуемая территория – участок р. Лена выше и ниже впадения р. Олекма (от г. Олекминск до с. Солянка). Бассейн р. Лена расположен в северо-восточной части Азиатского материка. Климат территории резко-континентальный, река протекает в зоне распространения многолетней мерзлоты (Водные..., 1995). Лед в пределах исследуемого участка появляется в среднем 14 октября, к 10 ноября устанавливается ледостав. Весенний ледоход обычно проходит с 15 по 26 мая и сопровождается образованием заторов льда. Средняя продолжительность ледостава 188 сут., периода с ледовыми явлениями – 224 сут.

В пределах исследуемого участка долина р. Лена корытообразная, шириной по дну до 10 км. Русло реки в створе гп Олекминск песчано-галечное, ширина реки в межень 1,5 км, в половодье и паводки – до 3 км. Русло в створе гп Солянка галечно- каменистое, шириной до 1,5 км. В 3 км ниже поста находится перекат (Ежегодные..., 2012).

Всего было обработано 60 снимков с апреля 2013 по январь 2018 гг. (табл. 1). Выбирались снимки за осенние месяцы (октрябрь, ноябрь) и за весенние (март–май). Для контроля были использованы данные наблюдений на гидрологических постах (https://gmvo.skniivh.ru/). Обработка снимков проводилась в программе ArcGis.

Табл. 1 Обзор исходных данных

Период	Кол-во снимков	Ледовая обстановка по данным гидрологических постов
весна 2013 г.	5	Ледостав с торосами, вода на льду
осень 2013 г.	2	Ледоход, забереги, неполный ледостав
весна 2014 г.	9	Ледостав с торосами, чисто
осень 2014 г.	6	Ледоход, забереги, неполный ледостав, ледостав с торосами, зажор
весна 2015 г.	9	Ледостав с торосами, вода на льду, ледоход, навалы льда
осень 2015 г.	8	Ледоход, забереги, ледостав с торосами, неполный ледостав
весна 2016 г.	6	нд
осень 2016 г.	8	нд
весна 2017 г.	2	нд
осень 2017 г.	5	нд

Для ледового мониторинга возможно использование комбинаций как «естественного», так и «искусственного цвета». Например, благодаря тому, что вода поглощает излучение ИК диапазона, комбинация ближнего, среднего ИК и красного каналов позволяет более четко отделять воду и сушу. Для определения различий между снегом, льдом и облаками используется сочетание синего и коротковолновых ИК. Лед в этом варианте будет

отображаться ярко-красным, снег – оранжевым. В данной работе все снимки рассматривались в синтезе «естественного цвета» (красный-зеленый-синий) и «искусственного цвета» (ближний ИК-красный-зеленый). Синтез «искусственного цвета» лучше позволяет различать снег, лед, воду и отмели на снимках.

Результаты

На снимках, сделанных в апреле 2013 г. хорошо отслеживается влияние малых притоков на ледяной покров р. Лена (рр. Намана, Куччугуй-Сылыгыр, Улахан-Сылыгыр, Ус-Булунг и др.). Вода на льду здесь появляется раньше. При использовании комбинации «искусственных цветов» струйки воды хорошо дешифрируются. При впадении малых притоков лед на основной реке приобретает насыщенный голубой цвет.

На снимках за ноябрь 2013 г. видны незамерзшие участки реки. При синтезе каналов «искусственного цвета» хорошо отделяются участки льда, воды и островов.

На период разрушения ледяного покрова весной 2014 г. имеется серия из 9 снимков. 1 марта сплошной ледяной покров еще отслеживается, но уже заметно, что накапливается вода на льду в районе р. Намана. Также в районе впадения р. Туолбачан можно увидеть в устье пространство, на котором льда уже нет, хорошо прослеживается вода. В первых числах апреля выделяются полыньи на р. Лена в районе с. Урицкое. К 9 апреля ниже г. Олекминск в месте впадения р. Чайдах – открытая вода.

В период замерзания 2014 г. на снимках виден ледоход и забереги, на р. Олекма – только забереги, малые притоки полностью покрыты льдом. На снимке 12 ноября 2014 г. отмечается густой ледоход, плотное скопление в районе с. Солянка свидетельствует об образовании зажора, что подтверждается данными гидрологического поста. 19 ноября – сплошной ледостав, хотя участки смерзания заберегов и льдин выделяются по цвету.

На снимках весной 2015 г. в 20-х числах апреля выше впадения р. Олёкма видно вскрывающееся русло реки с отдельными льдинами. Сплошной ледяной покров местами приобретает голубой цвет в синтезе «искусственных цветов», а к 28 апреля русло становится ярко-голубым. На майских снимках 2015 г. малые притоки свободны ото льда, по р. Лена – ледоход.

Осенью 2015 г. к началу ноября на р. Олекма установился сплошной ледостав, на р. Лена – забереги и ледоход. На снимке 22 ноября – на р. Лена сплошной ледяной покров, различной структуры по длине реки.

Весной 2016 г. в середине марта отмечается вода на льду в местах впадения рр. Намана и Чайдах. К середине апреля видны промоины также в местах впадения малых притоков.

Осенью 2006 г. к 1 ноября по р. Лена забереги и редкий ледоход, на р. Олекма – забереги, мелкие притоки покрыты льдом. К 24 ноября на льду р. Лена сформировался снежный покров.

На майских снимках 2017 г. по рр. Лена и Олекма виден ледоход. К 21 мая река практически очистилась ото льда.

Для примера на рис. 1. представлен снимок со спутника Landsat-8, сделанный 04 ноября 2017 г. Можно отчетливо проследить образовавшиеся забереги и ледоход в русле реки, как они распределены на рассматриваемом участке. К 13 ноября 2017 г. на р. Лена установился ледостав.

Выводы

Для бассейна р. Лена благодаря преобладанию ясной безоблачной погоды большую часть осенне-зимнего сезона использование оптических снимков для целей ледового мониторинга вполне оправдано. Ширина р. Лена в пределах исследуемого участка позволяет довольно подробно описать ледовую обстановку по длине и ширине реки, отметить участки образования заберегов, ледохода.

Для ледового мониторинга возможно использование комбинаций как «естественного», так и «искусственного цвета». После отработки различных комбинации каналов, в том числе ИК и тепловых, для анализа на данном участке выбраны 2 синтеза: в «естественном цвете» (красный-зеленый-синий) и в «искусственном» (ближний ИК-красный-зеленый).

Рис. 1 Ледовая обстановка на р. Лена от г. Олёкминск до с. Солянка (04.11.2017 г.)

Картирование ледовой обстановки по серии снимков позволило выявить влияние малых притоков на участке между гп Олекминск и Солянка, особенности ледового режима устья р. Олекма, выделить различия в структуре ледяного покрова по длине реки в первые дни после установления ледостава и в период разрушения льда.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (соглашение № 14–37–00038П).

Список литературы

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL:https://gmvo.skniivh.ru/ (Дата обращения 01.10.2017)

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных воды суши 2010 г. Ч. 1,2. Т. 1., Вып. 16. – Якутск, 2012.

Водные пути бассейна Лены / Р. С. Чалов, В. М. Панченко, С. Я. Зернов и др. — МИКИС Москва, 1995. — С. 600.

Скрипник Е.Н., Васильев Л.Ю. Гидрометеорологические и ледовые условия в бассейнах рек Севера Европейской России в зимний период //Земля из космоса. №10 – 2011– стр. 56–59.

Gauthier Y., Hardy S., Gutiérrez C., Padel A., Gaudreau J., Poulin J., Jasek M., Bernier M., Gomez H., Roth A. IceFRONT : Integration of radar and optical images for operational river freeze-up monitoring // 18th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Quebec, 2015

Riebeek H. How to Interpret a False-Color Satellite Image. URL: https://earthobservatory.nasa.gov/Features/FalseColor/?src=eoa-features (Дата обращения: 04.03.2014)

The possibilities of using satellite data for the study of the ice cover of rivers

Koliy V.M., Agafonova S.A.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
sv_andreevna@mail.ru

Abstract: The paper deals with the possibility of using data of optical satellite data images for ice monitoring on the example of the Lena river above and below the confluence of the Olekma river (from Olekminsk to Solyanka). 60 Landsat 8 and Sentinel 2 satellite images were selected from April 2013 to November 2017 for the autumn (October, November) and the spring months (March, April, may). To control the decoding results, we used data from observations at hydrological posts. Image processing was performed in an ArcGis program. Various combinations of channels, including IR and thermal ones, have been worked out. As a result, the use of two syntheses ("natural color" (red-green-blue) and "artificial color" (near IR-red-green) was optimal for these conditions. It is revealed that the analysis of the obtained images allows mapping the ice situation on the rivers, to distinguish the border ice, to fix the density of the ice run, the appearance of water on the ice and the spring destruction of ice. A series of ice maps were obtained, features of freezing and opening of the Lena river between the Olekminsk and Solyanka were noted. The paper describes the main features of the ice situation resulting from the analysis of images. The influence of small tributaries is revealed, especially in the spring period. Marked differences in freezing the Lena river and the lower reaches of the river Olekma. The different structure of ice cover along the length of the river in the first days after the establishment of ice and during the spring breakup of the ice cover. Taking into account the predominance of clear solar weather in the period with ice phenomena for the study area, optical images can become the basis of space ice monitoring in this area.

Keywords: river ice cover, Lena river, satellite data

Two-dimensional hydrodynamic modeling of the Lena river floodplain inundation near the city of Yakutsk

***Kornilova E.D.*[1], *Krylenko I.N.*[1,2], *Belikov V.V.*[2], *Golovlyov P.P.*[1]**
[1]*Lomonosov Moscow State University,Moscow, Russia*
[2]*Water Problems Institute of RAS, Moscow, Russia*
ekaterina.kornilova.hydro@gmail.com

Abstract: The study is devoted to a detailed assessment of the characteristics, areas and boundaries of the floodplain inundation. Lena River near the city of Yakutsk (from Tabaga to Kangalassy) using remote sensing data and methods of hydrodynamic modeling with GIS technologies. Mathematical modeling was carried out using the software package "Stream_2D" (Belikov et al., 2014), which is based on the solution of the two-dimensional equations of Saint-Venant The analysis of the dynamics of flooding over the period 2009-2015 was fulfilled and further calibration and verification of hydrodynamic model for the periods of ice drift and ice jam was done. Numerical experiments for assessing of sensitivity of flooding characteristics to changes in input conditions (water flow, roughness, channel topography) were performed.

Keywords: modeling, hydrodynamic model, remote sensing data, flooding, floodplain, satellite images, hydrology, Lena, Yakutsk, ice phenomena.

Introduction

Human activity on the floodplains is required detailed study of the flooding regime and sensitivity of characteristics of inundation to changes the input conditions The part of the Lena River valley near Yakutsk with total length of 75 km (from the gauge of Tabaga to the gauge of Kangalassy) was selected as the object of the study.

The most promising method, which allows to assess spatial distribution of characteristics of water flow on the floodplain, is two-dimensional hydrodynamic modelling. Based on the input information about relief of river channels and floodplains modeling allow to estimate water levels, flow depths and velocities, boundaries of flooding. Comparison of the results of hydrodynamic modeling with the results of interpretation of satellite images give opportunity to compare the boundaries of flooding, perform additional model verification, and also to explore in detail the dependence of the flooding areas from the input flow based on two independent methods.

In addition to the model verification, it's important to assess the sensitivity of characteristics of floodplain inundation to change the input conditions such as water flow, roughness and channel topography. Such kind of study can indicate the parameters, which changes lead to a significant changes of flooding characteristics.

Research methods and initial data

Hydrodynamic modelling was conducted using software package STREAM_2D (Belikov, 2014), which is based on the numerical solution of the two-dimensional equations of Saint-Venant in the shallow water approximation (Kyunzh, 1985). This software package gives an opportunity to create a hybrid triangular-quadrangular grids with variable step. The information about channel and floodplain topography are interpolated to the centers of cells of the modeling grid. The model outputs are water levels, depths and flow velocity for each modeling sell.

The initial data for the application of the hydrodynamic model was topographic maps, the results of bathymetric surveys, measurements of water discharge, water surface elevations, and data of regime observations on the hydrological gauges of the Lena River - Tabaga, Yakutsk, Kangalassy.

The main calibration parameter in the Saint-Venant equations is the roughness. Before calculation, it's necessary to set a typical roughness value for each type of river channel and floodplain (Baryshnikov, 2003), then, during calibration, the roughness can be corrected on the basis of how the water levels and the flow velocity differ from the observed one. The next step in the simulation is the verification (validation) of the model, in other words checking of the model

using independent data. Hydrological observations and remote sensing data can be used for verification.

Images of the US space system Landsat-5,7,8, and images of the French satellite SPOT-5 were used to obtain information about boundary of flooding by remote data. The interpretation of space images was carried out in the ERDAS Imagine software using an automatic k-means classification approach based on cluster analysis methods (Kanungo, 2002).

Results of calibration and verification of the hydrodynamic model

Modeling the dynamics of the observed floods was carried out for 2006-2014 years. The first simulations have showed that an additional calibration of the model is required for the period of ice drift and ice jams. It was found that the calculated water levels are underestimated compared to the observed one during the heavy ice drift, because there is additional resistance to water movement take place. Accordingly, to calibrate the model, it was necessary to increase the values of the channel roughness for the periods of the ice drift. Thus, for the next step, the calculations were carried out not with a constant, but with a time-varying channel roughness.

In periods, when ice jam phenomena are observed, the calibration is also carried out by increasing the channel roughness, but only at the sites of ice jam formation. For indicating of ice-jam-hazard areas detailed analysis based on the Lena Basin Management office reports about observed floods and satellite images was done and special map of ice jam locations was drawn up.

Remote sensing data allows carried out additional verification based on comparison of flood areas. To determine the area of flooding with the highest accuracy using satellite imagery, it is necessary to select the synthesis of channels, which makes it possible to clearly separate the water and the terrestrial surface. Most clearly visible border between water and land is in combinations of visible red, near and middle infrared channels, because the water best absorbs infrared radiation.

During satellite images interpretation and comparing the areas of the flooding, which were determined on the basis of two independent methods, we noticed, that absolute error for several days was very large. The analysis of observations data has showed, that in these days situations of the beginning of water outflow on the floodplain (with water discharges are about 25-30 thousands m^3/c) took place. Most probably, some type of vegetation (floodplain shrubs) doesn't have time to be saturated of moisture, so it isn't displayed in a darker shade in combination of the red visible and infrared channels. To solve this problem, the maps of types of the underlying surface was made on the basis of high detailed satellite images WorldView-2 for period of low water with using supervised classification methods.

Thus the obtained mask of the vegetation was placed on interpreted satellite image for these dates. That is the total area of the inundation was determined by summing area of flooding and interpreted area of this type of the vegetation.

The result of the model verification was presented as dependence between the flooding areas and the input water discharges for independent methods (fig.1). Good coincidence of the modelling and interpretation of satellite images results was shown in the whole range of observed discharges of water.

The numerical experiments to assess the sensitivity of the characteristics of flooding to changes in input conditions

The essence of numerical experiments is to assess the sensitivity of flooding characteristics to changes in different input conditions, such as water flow, channel and floodplain roughness, vertical changes of channel relief. This experiment makes possible to estimate the range of the study characteristics and their sensitivity to various factors. It contributes to the more rapid calibration of the model in the future, and also determines focus in the modeling of multi-year series.

An assessment of the sensitivity of the flooding characteristics to a change in the input water flow, besides the results of their distribution depending on the value of the input condition, makes possible to identify transitional situations, such as the outflow of water to the floodplain.

If we consider in general all the characteristics of flooding, we can conclude that floodplain flooding begins at a sufficiently low value of water discharge (about 17500 m^3/s). But mainly small local depressions are flooded in this situation, so the water flow, which runs along the floodplain, remains close to zero. When water discharge is exceeded 25000 m^3/s, water movement on the floodplain is observed, however, the velocities on the floodplain averaged over the profile don't exceed 0.25 m/s (in local areas of the floodplain they can be much higher).

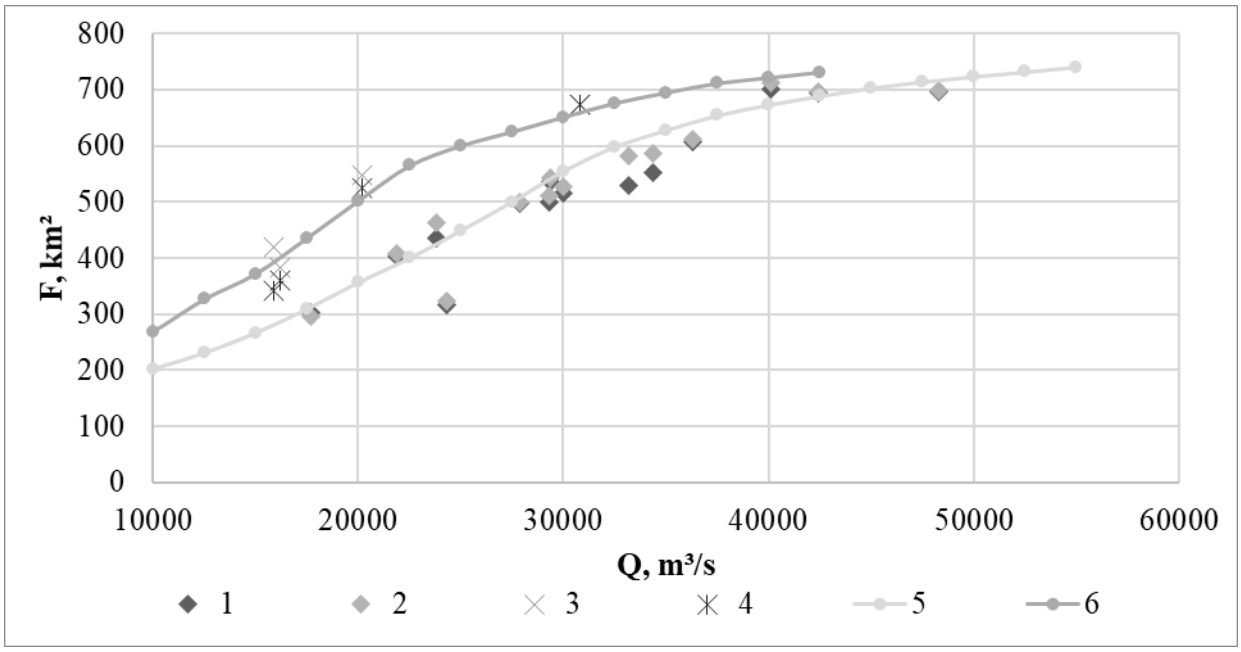


Figure 1. The graph of the dependence of the flooding areas from the input water discharge. Numbers in the legend mean the results of: 1 – satellite image interpretation, 2 – modelling, 3 – interpretation for the ice jam periods, 4 – modelling in the ice jam periods, 5 – numerical experiments, 6 – numerical experiments for the ice jam periods.

The next numerical experiment has purpose to assess the sensitivity of flooding characteristics to a change in the channel and the floodplain roughness. The experiment has showed that, mainly, the average flooding characteristics depends on change in channel roughness, variations in the values of the roughness of the floodplain have practically no effect. This conclusion is very significant, because it is possible to determine the actual values of the channel roughness in the presence of field observations. The values of the floodplain roughness can be determined approximately depending on the type of underlying surface and the presence or absence of vegetation and its species.

One more numerical experiment was done to assess the sensitivity of flooding characteristics to changes in channel relief. For this purposes, values of all flow characteristics (areas, mean velocities, mean depths) for simulations with and without channel deformation were compared. The calculation was made taking into account a combination of typical hydrographs of different levels of probability (50%, 10%, 1%) in order to assess bottom changes of the Lena channel under different input conditions. The results of the experiment showed that taking into account channel bed deformation affects the characteristics of flooding quite strongly, but only when we consider the intra-annual distribution. The curves, which describe the change in characteristics, come to one point at the end of each year, that is, changes can be neglected in the long-term flooding simulations.

Conclusions

The study showed that the satellite images has allowed to perform the qualitative verification of the hydrodynamic model. The accuracy of estimations of flood areas mainly

doesn't depend on the type of used satellite data, but depends on the hydrological situation, which is expressed by the water discharge, and by the presence or absence of ice phenomena.

The use of vegetation mask, which takes into account the spatial distribution of semi-submerged shrubs, was proposed to refine the results of interpretation of space images at water flow corresponding to the beginning of floodplain inundation (25000-30000 m^3/s).

Numerical experiments to assess the sensitivity of flooding characteristics to changes in input conditions showed that a change in channel roughness can lead to a significant effect on the simulation results; modelling results are less sensitive to the floodplains roughness. Another important conclusion is the possibility of neglecting channel bed deformations for long-terms floodplains flooding simulations.

The authors of the article are grateful to the laboratory of soil erosion and channel processes of the Faculty of Geography of Moscow State University for provided field research materials, SCANEX company groups for remote sensing data. Numerical experiments on the estimation of flood areas were carried out with the support of the project RNF 14-17-00155, simulation of flood dynamics with the support of RFFI project 17-05-01230.

References

Baryshnikov N.B. Gidravlicheskie soprotivlenija rechnyh rusel (Hydraulic resistances of river beds). St. Petersburg, RGGMU, 2003, p.147

Kyunzh Zh.A., Kholli F.M., Vervei A. Chislennye metody v zadachakh rechnoi gidravliki (Numerical methods in problems of river hydraulics). Moscow, Energoatomizdat, 1985.

Belikov V.V., Kochetkov V.V. Programmnyi kompleks STREAM_2D dlya rascheta techenii, deformatsii dna i perenosa zagryaznenii v otkrytykh potokakh (Mathematical modeling of complex sections of channels of large rivers The program complex STREAM_2D for the calculation of currents, changes of the bottom and transport of contaminants in open streams). Rospatent, Moscow, 2014.

Kanungo T., Mount D.M., Netanyahu N., Piatko C., Silverman R. and Wu A.Y. An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24 (2002), pp.881-892.

Численное моделирование речного стока в дельте реки Лены

Крылова А.И., Антипова Е.А.
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
antipova_aea@mail.ru

Аннотация: В работе представлен гидродинамический метод описания сложной русловой системы дельты реки Лена, основанный на численном решении уравнений Сен-Венана для неустановившегося движения речного потока в одномерном приближении. Расчетная топологическая схема дельты реки Лены представляет собой некоторый плоский граф, на каждом отрезке которого решается система уравнений Сен-Венана с расходом воды и уровнем свободной поверхности в качестве неизвестных функций. Численное решение дифференциальных уравнений Сен-Венана основано на использовании абсолютно устойчивой неявной разностной схемы и специально разработанного метода прогонки по графу типа «дерево» для разветвленных и закольцованных участков речной сети.

В работе исследуется водный режим пяти магистральных проток дельты: Быковской, Трофимовской, Сардахской, Туматской и Оленёкской. Цифровая модель рельефа дельты, необходимая для учета в уравнениях движения, получена на основе географических карт и спутниковых фотографий земной поверхности из системы «Google Earth».

Представлены результаты расчета распределения расхода воды по основным протокам дельты близкие к данным многолетних наблюдений. Дано сравнение результатов моделирования гидравлических и морфометрических характеристик русел основных проток с натурными измерениями 2005 года.

Ключевые слова: неустановившееся движение воды, уравнения Сен-Венана, дельта реки Лены, основные протоки, расход воды, уровень свободной поверхности, неявная разностная схема.

Введение

Почти до конца первого десятилетия 21 века существовали объективные ограничения для изучения гидрологического режима дельты р. Лены гидродинамическими методами расчёта продольной трансформации речного стока. Благодаря многочисленным измерениям гидрологических и морфометрических характеристик в основных протоках дельты в рамках международного российско-германского проекта «Система моря Лаптевых» в летние сезоны 2002-2007 гг. (Федорова и др., 2009; Большиянов и др., 2013), а также материалам по многолетнему распределению стока (Гуков, 2001) стало возможным рассмотрение гидродинамических методов описания сложной русловой системы дельты р. Лены.

В устьевой области речные воды проходят через систему рукавов дельты, где происходит дробление магистрального расхода воды и его перераспределение по рукавам с уменьшением стоковых скоростей. Изменяется кинематическая структура основного водотока. Важным вопросом является получение достоверных оценок по распределению стока по протокам русловой сети дельты и изменению его общей величины и скоростей потока от вершины дельты к её нижнему краю.

С помощью гидродинамического метода описания неустановившегося движения воды в сложной дельтовой системе реки Лены осуществляется расчёт основных характеристик речного стока. Изучение закономерностей изменений расхода воды и уровня свободной поверхности реки является основной задачей данной работы.

Для применения численных методов решения уравнений Сен-Венана в условиях естественных водотоков приобретает важное значение подготовка гидравлических и морфометрических данных для обеспечения достаточной точности решения.

Постановка задачи

Система гиперболических дифференциальных уравнений, описывающая неустановившееся медленно изменяющееся движение воды в открытом русле без учета ветрового и барического воздействия, без бокового притока и в предположении об одномерности потока имеет следующий вид:

$$B\frac{\partial Z}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0,\ B\frac{\partial Z}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{\omega}\right)=-g\omega\left(\frac{\partial Z}{\partial x}+\frac{Q|Q|}{K^2}\right),\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{\omega}\right)=-g\omega\left(\frac{\partial Z}{\partial x}+\frac{Q|Q|}{K^2}\right), \quad (2)$$

где xx — координата, отсчитываемая вдоль оси русла; tt — время; $Q(x,t)Q(x,t)$ — расход воды; $Z(x,t)\,Z(x,t)$ — отметка свободной поверхности воды; $B(x,h)\,B(x,h)$ — ширина свободной поверхности воды при глубине $h(x,t)\ h(x,t)$; $\omega(x,h)\ \omega(x,h)$ — площадь поперечного сечения потока; $K(x,h)=\omega\frac{1}{n}h^{\frac{2}{3}}K(x,h)=\omega\frac{1}{n}h^{\frac{2}{3}}$ — модуль расхода (Иванов и др., 1971), где $n(x)n(x)$ — коэффициент шероховатости; gg — ускорение силы тяжести.

Для моделирования движение воды в речном русле сложноразветвленный устьевой участок реки представляется в виде плоского графа, на каждом отрезке которого решается система уравнений Сен-Венана (1) – (2).

Задача моделирования неустановившегося движения воды в речных руслах является начально-краевой. В качестве начальных условий на каждом отрезке графа используется решение стационарной задачи. В вершинах графа задаются условия сопряжения в виде баланса расходов и условий связи между уровнями. Граничные условия рассматриваются как частный случай условий сопряжения.

Численный метод решения

Эффективными методами решения задач о гидрологическом режиме сложноразветвленных открытых русел являются численные методы, основанные на использовании неявных разностных схем.

В данной работе для решения системы разностных уравнений используется вариант метода прогонки (Воеводин и др., 1983), который учитывает тип системы русел и трехдиагональную структуру матрицы разностных уравнений. При решении получившейся системы линейных алгебраических уравнений для разветвлений с «кольцами» учитывается структура одномерного графа «дерево», а для простых разветвлений без «колец» используется метод параметрической прогонки.

Численное моделирование неустановившегося движения воды в устье р. Лены

Математическая модель дельты Лены описывает водный режим реки от с. Кюсюр, где проводятся регулярные гидрологические наблюдения, до впадения реки в море Лаптевых.

Построение топологической модели дельты осуществлялось при помощи географических карт и онлайновой системы «Google Earth». По спутниковым фотографиям были выявлены основные наиболее водные протоки дельты, а также второстепенные протоки, которые имеют либо самостоятельный выход к морю, либо не пересыхают во время межени, а увеличивают водность основных проток. Начальный вариант геометрической схематизации русловой сети дельты Лены был взят из работы (Shlychkov et al., 2014). В ходе решения данной задачи схема русловой сети уточнялась и на данном этапе исследования имеет следующий вид (рис. 1).

Данная схема включает пять магистральных проток: Быковскую, Сардахскую, Трофимовскую, Туматскую и Оленёкскую.

Для численной модели необходимо определить основные морфометрические характеристики русла, такие как ширина и глубина водотоков и форма поперечного сечения русла. Ширина измерялась в каждом узле системы на основе космических снимков из программы «Google Earth». Глубина вычислялась по известной эмпирической формуле $h = 0.42B^{0.33}$ $h = 0.42B^{0.33}$ (Чалов и др., 1995), полученной на основе многочисленных натурных измерений, и уточнялась на основе промеров глубин из (Фёдорова и др., 2009; Большиянов и др., 2013; Fedorova et al., 2015; Алексеевский и др., 2016). Форма русла описывалась в виде квадратного трехчлена, за исключением некоторых участков Трофимовской протоки, для которых принималась призматическая форма русла (Гуков, 2001).

Значения расхода воды и уровня свободной поверхности, полученные при решении стационарной задачи, задавались в качестве начальных условий при расчете неустановившегося движения. В качестве граничного условия использовались данные расхода воды на гидропосту в с. Кюсюр.

Решение задачи моделирования неустановившегося движения воды в сложной устьевой области реки требует кропотливой работы с натурными данными. С помощью многолетних гидрологических данных из монографии (Гуков, 2001), измеренных экспедиционных данных в дельте реки Лены с 2002 по 2012 гг. (Фёдорова и др., 2009; Большиянов и др., 2013; Fedorova et al., 2015; Алексеевский и др., 2016), космических снимков из программы «Google Earth», такие параметры как глубина и ширина русла постоянно корректировались.

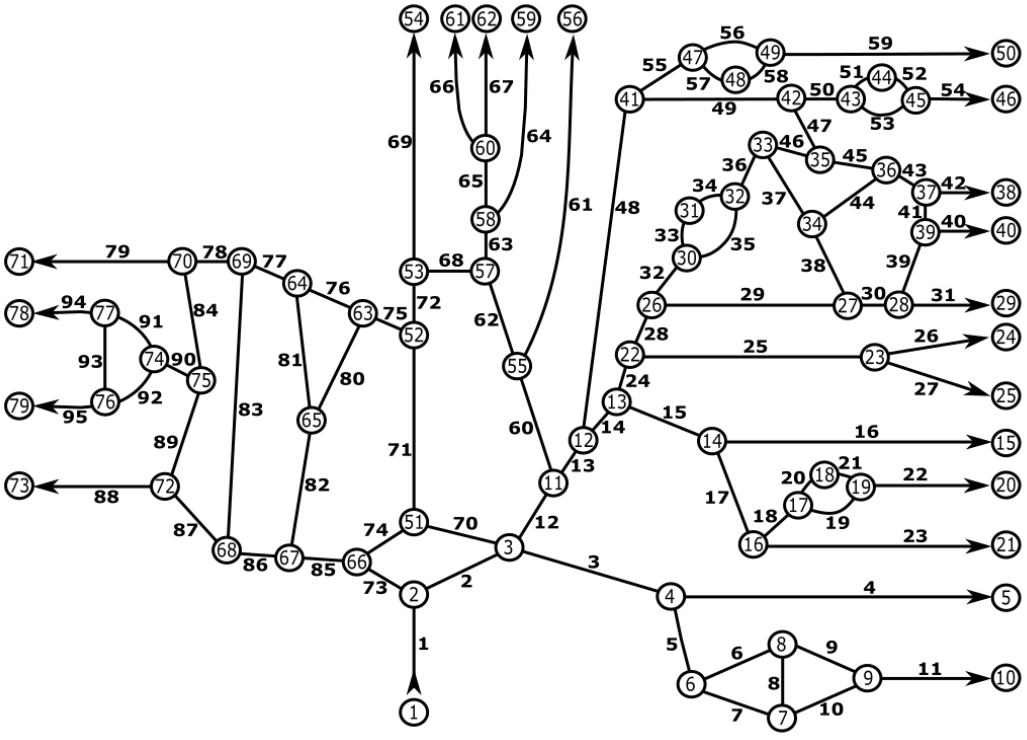


Рис.1 Схематизация русловой сети дельты р. Лены в виде графа, где в кружочках расположены номера вершин, а возле отрезков – номера участков

В августе 2005 года были проведены измерения расхода воды по длине Оленекской протоки от места впадения в нее Булкурской протоки до устья (Большиянов и др., 2013). В таблице 1 приведено сравнение результатов моделирования с этими данными.

Смоделированные расходы воды по протокам в сравнении с многолетними данными (Гуков, 2001) составляют: 23,4% − доля Быковской протоки (27%), 65,7% − доля Трофимовской и Сардахской проток (57%), 3,8% − доля Туматской протоки (9%) и 7% − доля Оленекской протоки (7%).

Благодаря новым данным о глубине Сардахской протоки (Большиянов и др., 2013) удалось смоделировать распределение стока воды в Сардахско-Трофимовском узле разветвления близкое к данным гидрологических исследований: основная доля стока 60% (модельный расчет − 58%) в Сардахской протоке, а доля стока Трофимовской протоки − 40 % (модельный расчет − 42%).

Табл. 1 Расход воды и глубина (измеренные и смоделированные) на гидрометрических створах Оленёкской протоки в августе 2005 года

Дата замера	Долгота	Широта	Измеренный расход Q (m^3/c)	Расход смоделированный после уточнения Q (m^3/c)	Измеренная максимальная глубина сечения m	Смоделированная максимальная глубина сечения m
15-17.08	72,88008	123,2149	956,53	1113,1	17,4	5,23
18. 08	72,75706	123,6484	1343,27	1266,9	16,5	6,67
19. 08	72,657	124,3391	1810,29	1844	6,6	10,62
19. 08	72,50581	125,2862	2065,19	1893,1	8,3	9,25
20. 08	72,359	125,6712	1510,71	1535,5	17,08	8,54
20. 08	72,29614	126,0944	1700,53	1535,5	9,2	8,54

Заключение

Анализ результатов расчета расходов и уровней воды в дельте р. Лены по представленной модели и их сравнение с данными измерений показали, что модель удовлетворительно описывает распределение расходов воды по основным протокам дельты. Причинами расхождения результатов расчёта и данных могут быть: 1) принятая схематизация русловой сети дельты; 2) погрешность значений исходных гидравлико-морфометрических характеристик основных проток дельты; 3) учёт только руслового потока без пойменной составляющей и бокового притока. Уточнение морфометрических характеристик русла приводит к более реалистичному моделированию неустановившегося движения воды в дельте р. Лены. Численное моделирование гидрологического режима, основанное на гидродинамическом методе расчета неустановившегося движения воды, позволяет получить характеристики одномерного потока, которые сложно измерить в натурных условиях.

Список литературы

Фёдорова И.В., Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Третьяков М.В., Четверова А.А. Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. М.: Изд-во МГУ. 2009. С.278-291.

Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г. Происхождение и развитие дельты реки Лена. С.-П.: Ренова. 2013. 267 с.

Гуков А.Ю. Гидрология устьевой области реки Лена. М.: Научный мир. 2001. 288 с.

Иванов В.В., Котрехов Е.П. Опыт численного моделирования неустановившегося движения воды в многорукавной дельте реки // Труды ААНИИ.1971. т. 314. С. 16–35.

Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Овчарова А.С. Численные методы решения задачи о неустановившемся движении воды на устьевых участках рек // Труды ААНИИ.1983. т. 378. С. 23–34.

Shlychkov V.A., Platov G.A., Krylova A.I. A coupled hydrodynamic system of the Lena River delta and the Laptev Sea shelf zone: the model tuning and preliminary results of numerical simulation // Bull. NCC. Ser.: Num. Model. in Atmosph. 2014. Vol. 14. P. 81–103.

Чалов Р.С., Панченко В.М., Зернов С.Я. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.

Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Айбулатов Д.Н. Особенности и оценки пространственно-временной изменчивости речного стока в многорукавной дельте р. Лены //Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики. М.: Лига-Вент, 2016. Т. 2. С. 65–95.

Fedorova I., Chetverova A., Bolshiyanov D. et al. Lena Delta hydrology and geochemistry: long-term hydrological data and recent field observations // Biogeosciences. 2015. V. 12. P. 345–363.

Numerical simulation of the river discharge in the Lena river delta

Krylova A.I., Antipova E.A.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

antipova_aea@mail.ru

Abstract: A hydrodynamic method for describing the complex channel system of the Lena River delta based on the numerical solution of Saint-Venant equations. This system describes the unsteady motion of the river flow in one-dimensional approximation. The topological scheme of the Lena river delta is a flat graph, on each segment of wich the system of Saint-Venant equations is solved with water discharge and free surface level as unknown function. The numerical solution of Saint-Venant's differential equations is based on the use of an absolutely stable implicit difference scheme and a specially developed method of Gaussian elimination for a "tree" graph of branched and looped sections of the river network.

The water regime of five delta main channels is investigated in the paper. The main channels are Bykovskaya, Trofimovskaya, Sardakhskaya, Tumatskaya and Olenekskaya. The digital delta relief model, which is necessary for taking into account in the equation of motion, was obtained on the basis of geographic maps and satellite photographs of the Earth's surface from the "Google Earth" system.

The result of the calculation water discharge distribution over the main branches of Lena River delta are presented. They are close to the data of long-term observations. Comparison between modeling hydraulic and morphometric characteristics of the channel with the field data in 2005 are presented in the paper.

Keywords: unsteady flaw motion, Saint-Venant equations, Lena River delta, main branch, water discharge, free surface level, implicit difference scheme.

Талики и формирование речного стока на малом водосборе в сплошной криолитозоне Центральной Якутии

***Лебедева Л.С.*, Ефремов В.С., Христофоров И.И., Бажин К.И., Огонеров В.В., Павлова Н.А.**

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск
lyudmilaslebedeva@gmail.com

Аннотация: Целью работы было оценить распространение надмерзлотных водоносных таликов и их вклад в питание реки на примере малого исследовательского водосбора р.Шестаковки в сплошной криолитозоне Центральной Якутии. В 2015-2017 гг. были выполнены ландшафтные описания, регулярные автоматические и ручные измерения уровней воды в гидрогеологических скважинах в таликах, расходов воды в замыкающем створе р. Шестаковки, метеорологические наблюдения и геофизические работы, а также анализ данных наблюдений за стоком воды р. Шестаковки-п.Камырдагыстах и метеорологической информации на станции Якутск за период 1951-2016 гг. Сосновые леса занимают 47% площади водосбора р. Шестаковки, лиственнично-березовые леса – 38%, мари и болота – 14% и озера – 1%. Талики занимают около 20-25% площади водосбора. Доля подземного питания реки таликовыми водами составляет 68%. Оставшиеся 80% водосбора дают всего 32% стока реки или 10 мм/год. Косвенные свидетельства позволяют предположить, что половодье р. Шестаковки формируется за счет поверхностного стока на марях и лиственнично-березовых лесах, а сток летнего сезона – за счет стока сезонно-талого слоя и таликов в сосновых лесах.

Ключевые слова: Водоносный талик, сплошная мерзлота, малый исследовательский водосбор, водный баланс, формирование речного стока

Введение

Гидрологические и гидрогеологические процессы в области сплошного распространения мощных толщ мерзлых пород связаны с существованием сквозных и несквозных таликов. Воды таликов формируют источники и наледи, участвуют в питании озер и рек. В Центральной Якутии известны субаэральные над- и межмерзлотные водоносные талики на средневозвышенных надпойменных террасах рр. Лена и Вилюй и на древней аккумулятивно-денудационной равнине. Они приурочены, как правило, к сухим слабозадернованным песчаным массивам, покрытым редким сосновым лесом (Катасонова и Толстов, 1963; Бойцов и Шепелев, 1976; Бойцов, 1985; Мониторинг, 2002; Бойцов, 2011). В бассейне р. Шестаковки в зоне вытянутого понижения на участке длиной 5 км ниже оз. Малая Чабыда А. В. Бойцовым было обнаружено четыре талика площадью от единиц до нескольких десятков тысяч квадратных метров и мощностью водоносного слоя в весенне-зимний период до 3-4 м. Наиболее изученный из них находится на склоне озерной котловины. В 1977 г. здесь был организован научный стационар, на котором в течение 8 лет проводился комплекс мерзлотно-гидрогеологических исследований коллективами лаборатории подземных вод и теплобалансовой группы Института мерзлотоведения (ИМЗ) СО АН. Вопрос распространения субаэральных таликов в условиях сплошной криолитозоны и их участия в питании малых промерзающих до дна рек остается дискуссионным. Исследования субаэральных таликов становятся особенно актуальными для оценки эволюции мерзлотно-гидрогеологических условий региона при меняющемся климате. Целью работы было оценить распространение надмерзлотных

водоносных таликов и их вклад в питание реки на примере малого исследовательского водосбора р.Шестаковки в сплошной криолитозоне Центральной Якутии.

Материалы и методы

Водосбор р. Шестаковка – п. Камырдагыстах (площадь водосбора – 170 км^2) располагается на левом берегу р. Лены в 20 км к югу от Якутска в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты мощностью 200-400 м. Пост сети Росгидромет функционирует с 1951 непрерывно по настоящее время. Территория Центральной Якутии характеризуется резко континентальным климатом со среднегодовой температурой воздуха -9.5°С. Среднее многолетнее количество осадков за год на станции Якутск за 1951-2014 гг. составляет 239 мм, за теплый период - 158 мм. В почвенном покрове преобладают мерзлотные таежные почвы. Зональным типом растительности является брусничная лиственничная тайга. На небольших грядах и крутых склонах произрастает сосновый лес. В понижениях распространена болотная растительность.

Полевые исследования 2015-2017 гг. включали ландшафтные описания, регулярные автоматические и ручные измерения уровней воды в гидрогеологических скважинах в таликах, расходов воды в замыкающем створе р. Шестаковки, метеорологические наблюдения и геофизические работы.

Геофизические работы были проведены методом георадиолокации с помощью георадара «ОКО-2» (ООО «ЛогиС», Россия) с антенным блоком АБ-250 (центральная частота 250 МГц), а также методом электротомографии с использованием многоканальной многоэлектродной станции «Скала-64» производства «КБ Электрометрии» (г. Новосибирск). Станция имеет 64 электрода и 16 измерительных каналов. Обработка полученных данных проводилась в программе, ZonRes2D (Электроразведка, 2013). Съемка проводилась в начале мая, чтобы оценить максимальное промерзание пород. Для исследования участков методом георадиолокации были применены параметры сканирования: развертка 200 нс; диэлектрическая проницаемость 6; непрерывный режим записи. Измерения проведены в плотном контакте с поверхностью изучаемой среды. Для обработки и интерпретации полевых данных использовалось программное обеспечение «GeoScan32» (ООО «ЛогиС», Россия). Наличие гидрогеологических скважин позволяет уточнить характерные значения диэлектрической проницаемости и удельного электрического сопротивления изучаемой среды и для более точной обработки геофизических материалов.

Результаты

По результатам полевых описаний ландшафтов и анализа спутниковых снимков высокого разрешения SAS Planet и Google Earth была построена ландшафтная схема бассейна р. Шестаковки (рис., слева). Было выяснено, что сосновые леса занимают 47% площади водосбора р. Шестаковки, лиственнично-березовые леса – 38%, мари и болота – 14% и озера – 1%.

В мае 2017 г. было выполнено геофизическое профилирование на 15 ключевых участках, покрытых сосновым лесом, в различных орографических и геоморфологических условиях водосбора р. Шестаковки.

На каждом из 15 участков была выполнена съемка по профилю длиной 300 м. Были выявлены таликовые зоны на 8 профилях из 15 (рис., слева). Талые водонасыщенные породы характеризуются протяженностью от десятков до сотен метров и мощностью от 2 до 10 м в конце зимнего сезона.

Сосновые леса занимают 47% площади водосбора р. Шестаковки. Исходя из предположения, что 15 ключевых участков являются репрезентативными для сосновых лесов водосбора, можно сделать вывод, что надмерзлотные водоносные субаэральные талики занимают около 20-25% площади водосбора р. Шестаковки.

В мае 2017 г. на верхнем участке р. Шестаковки протяженностью около 5 км было обнаружено 14 наледей. Самая крупная из них была протяженностью 90 м и мощностью

до 70 см. Процесс наледеобразования свидетельствует о разгрузке подземных вод таликов и сезонно-талого слоя (СТС) в зимний период.

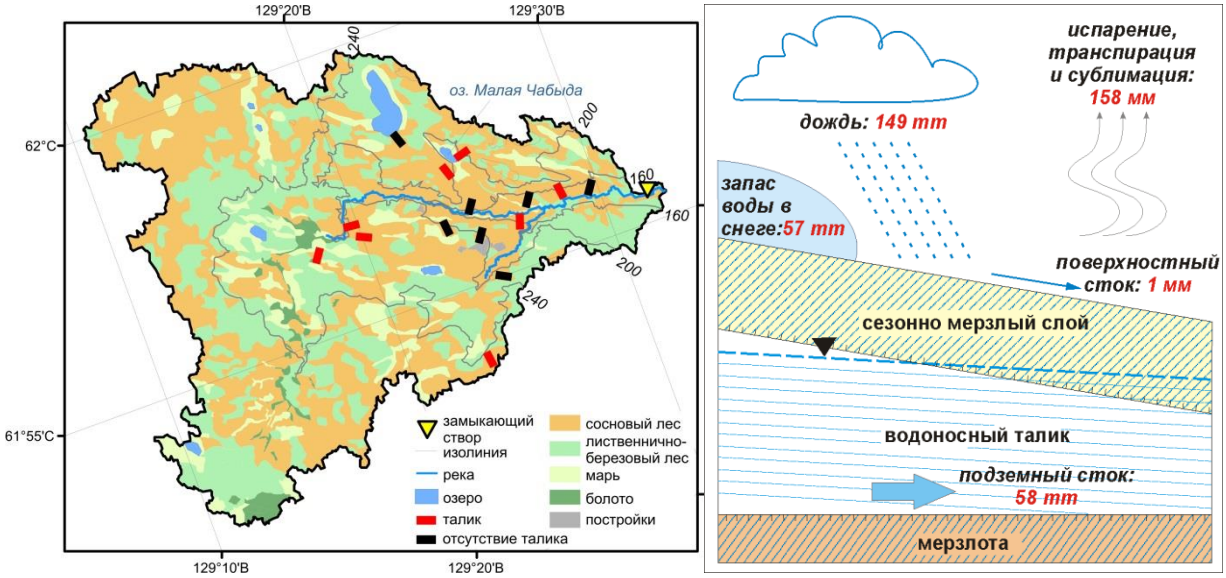


Рис. Слева: ландшафтная схема бассейна р. Шестаковки и результаты геофизического профилирования; справа: водный баланс талика на песчаном склоне в бассейне р. Шестаковки на примере Чабыдинского талика, 1984 г. (по Мониторинг, 2002)

Слой стока р. Шестаковки за гидрологический год за период наблюдений 1951-2016 гг. варьируется от 1.5 до 99 мм. Среднемноголетнее значение слоя стока равен 25 мм/год. Коэффициент стока меняется от 1 до 36 %, в среднем составляя 10%.

По наблюдениям А.В. Бойцова (2002) подземный сток Чабыдинского талика составляет в среднем 50-90 мм за теплый сезон. Допуская, что эта оценка репрезентативна для других таликов в бассейне р. Шестаковки и оценивая площадь таликов в 34 км^2 (20% площади водосбора), доля подземного питания реки таликовыми водами составляет 68%. Оставшиеся 80% водосбора, покрытые сосновыми лесами без таликов, лиственнично-березовыми лесами, марями и болотами дают всего 32% стока реки или 10 мм/год.

По-видимому, различные ландшафты дают вклад в сток р. Шестаковки в разные сезоны года. При снеготаянии талая вода в сосновых лесах частично испаряется, и в основном фильтруется в мерзлые слабольдистые песчаные отложения и не доходит до реки в течение половодья. Это подтверждается данными А.В. Бойцова о том, что пики повышения влажности на подошве зоны аэрации в талике в сосновом лесу наблюдаются примерно через 10-20 дней после выпадения интенсивных дождей или схода снежного покрова, а поверхностный сток практически никогда не наблюдается. Талая вода на марях и в лиственнично-березовых лесах, в отличие от сосновых лесов, стекает по поверхности в реку и, по-видимому, образует сток половодья р. Шестаковки. После половодья в течение лета вода СТС лиственнично-березовых лесов и марей расходуется на испарение и транспирацию и не дает вклада в сток реки. В сосновых лесах потери на испарение и транспирацию (102-114 мм) меньше, чем на марях (244 мм) и лиственничниках (214 мм). Даже в засушливые годы питание зоны аэрации песчаных отложений в сосновых лесах, расходуемое в дальнейшем на подземный и, по-видимому, на речной сток и транспирацию влаги древостоем, превышает величину испарения с поверхности почвы (Бойцов, 2002). Водоносный слой появляется в хорошо проницаемых песчаных отложениях на пологих склонах. В случае зарастания склона вся влага расходуется на испарение и транспирацию.

Вывод А.В. Бойцова о том, что пики повышения влажности на подошве зоны аэрации в талике в сосновом лесу наблюдаются примерно через 10-20 дней после выпадения интенсивных дождей или схода снежного покрова, хорошо согласуется с оценкой времени реакции р. Шестаковки на осадки в 20-40 дней. Это подтверждает гипотезу о преобладающем вкладе надмерзлотного стока СТС и таликов сосновых лесов в сток летнего периода (за исключением периода половодья). Это косвенно подтверждается повышенной цветностью и кислотностью воды в реке в периоды половодья, что говорит о преобладающей роли марей и болот в стокоформировании этого периода. В течение летнего периода цветность и pH речной воды ближе к таликовым водам.

Выводы

Сосновые леса занимают 47% площади водосбора р. Шестаковки, лиственнично-березовые леса – 38%, мари и болота – 14% и озера – 1%. Георадиолокационные исследования на 15 ключевых участках в сосновых лесах в бассейне р. Шестаковки показали наличие надмерзлотных водоносных субаэральных таликов на 8. Исходя из предположения, что выбранные ключевые участки являются репрезентативными для сосновых лесов водосбора, можно сделать вывод, что талики занимают около 20-25% площади водосбора р. Шестаковки. Согласно оценке А.В. Бойцова (2002) о величине подземного стока Чабыдинского талика в 50-90 мм и оценивая площадь таликов в 34 км^2 (20% площади водосбора), доля подземного питания реки таликовыми водами составляет 68%. Оставшиеся 80% водосбора, покрытые сосновыми лесами без таликов, лиственнично-березовыми лесами, марями и болотами дают всего 32% стока реки или 10 мм/год. Косвенные свидетельства позволяют предположить, что половодье р. Шестаковки формируется за счет поверхностного стока на марях и лиственнично-березовых лесах, а сток летнего сезона – за счет стока СТС и таликов в сосновых лесах.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 17-05-00926, 17-05-00217, 16-35-60082мол_а_дк и гранта им. П.И. Мельникова 2017 г. для молодых ученых, аспирантов и студентов (ИМЗ СО РАН).

Список литературы

Бойцов А.В., Шепелев В.В. Мерзлотно-гидрогеологические условия массива развеваемых песков Махатта (Центральная Якутия) // Гидрогеологические исследования криолитозоны. — Якутск, 1976. -С.25-34.

Бойцов А.В. Условия формирования и режим подземных вод надмерзлотного и межмерзлотного стокав Центральной Якутии: дис. … к.г.-м.н. –Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002. – 176 с.

Бойцов А.В. Геокриология и подземные воды криолитозоны. – Тюмень: Издательство ТюмГНГУ, 2011, 177 с.

Бойцов А.В. Условия формирования и режим склоновых таликов в Центральной Якутии // Криогидрогеологические исследования - Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1985, с. 44-55.

Катасонова Е.Г., Толстов А.Н. Геокриологические особенности развеваемых песков (тукуланов) правобережья р.Вилюй // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. - С. 166-179.

Мониторинг подземных вод криолитозоны / В.В. Шепелев, А.В. Бойцов, Оберман Н.Г. и др. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2002. – 172 с.

Электроразведка: пособие по электроразведочной практикедля студентов геофизических специальностей.Т. II. Малоглубинная электроразведка / Под ред. проф. В.А. Шевнина, доц. А.А. Бобачева. – М.: МГУ, 2013. – 123 с.

Taliks and river runoff formation at the small research watershed in continuous permafrost of Central Yakutia

Lebedeva L.S., Efremov V.S., Khristoforov I.I., Bazhin K.I., Ogonerov V.V., Pavlova N.A.
Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk
lyudmilaslebedeva@gmail.com

Abstract: The research objective is to estimate taliks distribution and contribution of the talik groundwater to the streamflow in the Shestakovka River research watershed, continuous permafrost zone in Central Yakutia. In 2015-2017 landscape descriptions, regular automatic and manual measurements of water levels in hydrogeological wells in taliks, water discharge at the Shestakovka river outlet, meteorological observations and geophysical surveys were carried out. Analysis of streamflow data for Shestakovka at Kamyrdagystakh and meteorological information at Yakutsk station for the period 1951-2016 was done. It was found out that pine forests occupy 47% of the watershed, larch-birch forests – 3 8%, mari and marshes – 14% and lakes – 1%. Taliks occupy 20-25% of the watershed. The talik underground water contribution to the river is 68%. The remaining 80% of the watershed area contribute only 32% of the river runoff or 10 mm/year. Indirect evidences suggest that Shestakovka river spring flood is formed by surface flow in marshes and larch-birch forests. Streamflow during the summer season is produced by subsurface flow in seasonally thawing layer and taliks in the pine forests.

Keywords: Talik, continuous permafrost, research watershed, water balance, streamflow formation

Пространственная изменчивость стока малых, средних и крупных рек Центральной Якутии

***Лебедева Л.С.*[1], *Макарьева О.М.*[1,2,3,4]**
[1]*Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова, Якутск*
[2]*НПО "Гидротехпроект", Санкт-Петербург*
[3]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
[4]*Государственный Гидрологический институт, Санкт-Петербург*
lyudmilaslebedeva@gmail.com

Аннотация: Целью работы было проанализировать пространственную изменчивость речного стока в Центральной Якутии и оценить ее связь с различными мерзлотными ландшафтами региона. Для анализа были использованы 18 речных бассейнов с площадями водосборов от 80 до 65400 км^2 с рядами наблюдений за суточными расходами воды продолжительностью от 6 до 78 лет. По соотношению величин среднемноголетнего стока и коэффициента его межгодовой изменчивости выделяются реки с устойчивым высоким стоком более 100 мм/год, с неустойчивым низким стоком менее 24 мм/год и переходные (от 20 до 100 мм/год). Высокая пространственная изменчивость не может быть объяснена вариациями осадков по территории и связана с влиянием факторов подстилающей поверхности. Выявлено, что чем выше доля межаласного типа местности, характеризующегося развитием полигонально-жильных льдов и термокарстовых процессов, тем ниже и неустойчивее (коэффициент вариации выше, продолжительность меньше) сток. Чем выше доля склонового типа местности в речном бассейне, тем выше среднемноголетний и максимальный суточный сток рек, а также дольше период стока.

Ключевые слова: Пространственная изменчивость речного стока, Центральная Якутия, сплошная мерзлота, коэффициент вариации, термокарст

Введение

Криолитозона России отличается разнообразием ландшафтов, климатических условий и, как следствие, доминирующих гидрологических процессов. Воскресенский (1962) отмечал, что на территории бывшего СССР Центральная Якутия, характеризующаяся сплошным распространением многолетней мерзлоты, была единственным регионом в зоне тайги, характеризующимся крайне низким стоком, сравнимым со стоком рек в степях и пустынях. В криолитозоне в формировании речного стока участвуют специфические процессы, которые не наблюдаются за ее пределами, такие как сезонная и межгодовая динамика глубины залегания мерзлотного водоупора, сезонное и многолетнее криогенное перераспределение стока, формирование наледей и наледный сток, осеннее “отжатие” влаги из промерзающего деятельного слоя и криогенные паводки, внутригрунтовая конденсация влаги, зимнее перемерзание рек до дна, таяние подземных льдов и другие. Целью работы было проанализировать пространственную изменчивость речного стока в Центральной Якутии и оценить ее связь с различными мерзлотными ландшафтами региона.

Материалы и методы

Для анализа пространственной изменчивости речного стока в Центральной Якутии были использованы 18 речных бассейнов с площадями водосборов от 80 до 65400 км^2, по которым имеется ряд наблюдений за суточными расходами воды продолжительностью от 6 до 78 лет. В работе использованы данные о суточных расходах воды за весь период наблюдений до 2014 года включительно, опубликованные в Гидрологических Ежегодниках (Гидрологический ежегодник, 1936-1980; Государственный водный кадастр, 1981-2007) и на сайте Автоматизированной информационной системы государственного

мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) (URL: https://gmvo.skniivh.ru). Для каждого ряда расходов были рассчитаны: слои стока за каждый год, продолжительность стока за каждый год, максимальный суточный расход и слой стока за каждый год, минимальный суточный расход и слой стока за каждый год, слой стока за каждый месяц, среднемесячные слои стока за весь период наблюдений на посту, среднемноголетние значения слоя стока за год, продолжительности стока, максимального и минимального суточного расхода, слоя стока, коэффициент вариации годового слоя стока Cv.

Результаты

Среднемноголетний слой годового стока рек Центральной Якутии варьируется от 1 мм/год (р. Таатта – с. Уолба, 8290 км^2) до 171 мм/год (р. Амга – с. Буяга, 23900 км^2). Коэффициент вариации (Cv) годового стока, характеризующий его межгодовую изменчивость, изменяется от 0.3 (р. Туолба – пос.Алексеевка, 14400 км^2 и р. Амга – с. Буяга, 23900 км^2) до 1.87 (р. Мархинка – р.п. Марха, 408 км^2). Значения среднемноголетнего годового стока и коэффициента вариации годового стока показаны на Рис. 1. По соотношению величин годового стока и его временной изменчивости исследуемые посты можно разделить на три группы (Рис. 1):

1) Реки с устойчивым высоким стоком. Сток более 100 мм/год, Cv менее 0.4. В эту группу входят крупные реки региона: Амга, Буотама и Туолба с площадями водосборов более 12000 км^2. Исключение составляет р. Синяя – г.п. Песчаное с площадью бассейна 30400 км^2, которая не вошла в эту группу и характеризуется пониженным стоком и его высокой межгодовой изменчивостью. Реки этой группы не перемерзают и не пересыхают, сток воды наблюдается постоянно. За весь период наблюдений только на р.Буотаме в 2001 г. наблюдалась полное пересыхание на 64 дня.

2) Переходная группа. Сток рек от 20 до 100 мм/год, Cv от 0.4 до 1.1. В эту группу вошли рр. Юнкюр, Шестаковка, Харыйа-Юрэх, Маатта, Тангнары, Кэнгкэмэ и Синяя с большим разбросом площадей от 80 до 30400 км^2. Реки этой группы перемерзают, и могут пересыхать в течение некоторого периода, однако сток воды регистрируется ежегодно. Среднемноголетняя продолжительность стока составляет от 96 до 234 дней, в маловодные годы – от 37 до 184 дней.

3) Реки с неустойчивым низким стоком. Сток менее 24 мм/год, Cv более 1.1. Исключение составляет река Мархинка – р.п. Марха, которую, несмотря на относительно высокий слой стока (38 мм/год), была отнесена к этой группе за счет максимального Cv, равного 1.87. Точность определения Cv р. Мархинки понижена из-за короткого ряда наблюдений. Кроме Мархинки в эту группу входят рр. Суола, Танда и Таатта с площадями водосборов от 408 до 8290 км^2. Реки этой группы в течение отдельных лет полностью перемерзают, пересыхают и не дают стока в течение всего года. Среднемноголетняя продолжительность стока составляет от 89 до 131 дня.

На всех реках Центральной Якутии, за исключением рр.Танды и Таатты, самым полноводным месяцем в году является май, на который, как правило, приходится весеннее снеготаяние и половодье. На сток воды в мае приходится до 88% общего стока (р. Мархинка). Максимальные расходы формируются в период половодья. На многих реках в июле и августе выделяется летняя межень и некоторое увеличение стока в сентябре (рр.Шестаковка, Кэнгкэмэ, Тангнары, Синяя, Буотома, Туолба, Амга), а на других (Харыйа-Юрэх, Мархинка, Маатта, Суола, Танда) месячный сток равномерно уменьшается в течение теплого сезона. На Таатте самым полноводным месяцем является июль.

Реки с площадями водосбора менее 12 000 км^2 ежегодно перемерзают. Реки с площадями более 12 000 км^2 текут постоянно, за исключением р. Синяя с площадью бассейна 30400 км^2, которая характеризуется продолжительностью стока от 41 до 365

дней в году со средним значением 237 дней. Согласно Аржаковой (2001) в сплошной криолитозоне России не подвергаются перемерзанию реки с площадями водосборов более 50000-75000 км^2, то есть в Центральной Якутии предел площади водосбора, больше которой река течет в течение всего года, ниже, чем в среднем по криолитозоне России.

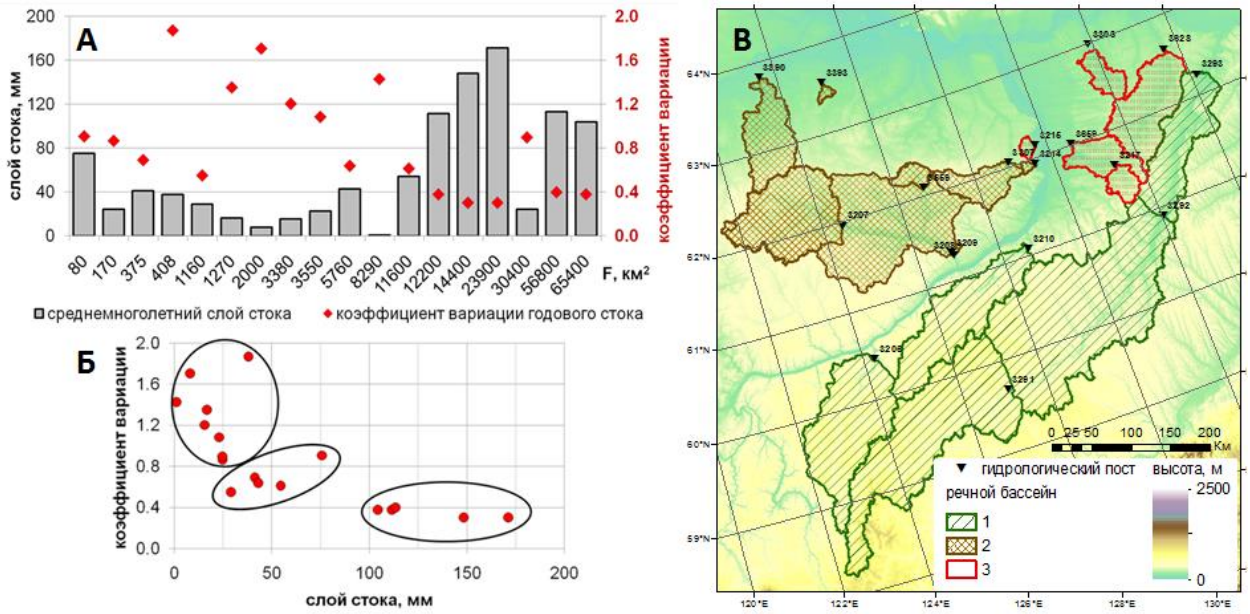


Рис. 1 А - среднемноголетний слой стока и коэффициент вариации годового стока на 18 исследуемых речных бассейнах Центральной Якутии. Площадь водосбора F увеличивается в направлении слева направо и указана под графиком. Б - зависимость коэффициента вариации от среднемноголетнего годового стока исследуемых речных бассейнов и их разделение на три группы. В - схема расположения исследуемых речных бассейнов в Центральной Якутии: 1 – реки с устойчивым высоким стоком, 2 - переходная группа, 3 – реки с неустойчивым низким стоком

Среднемноголетние осадки на 22 метеорологических станциях в Центральной Якутии варьируются от 240 до 400 мм/год и не объясняют наблюдаемую высокую пространственную изменчивость речного стока. Практически все осадки, выпадающие на поверхность водосборов третьей группы, поступают не в речную сеть, а расходуются на пополнение запасов воды на водосборе либо другие расходные компоненты водного баланса. Предположительно, условия подстилающей поверхности играют преобладающую роль в формировании стока рек Центральной Якутии по сравнению с гидроклиматическими факторами.

Связь речного стока с типами местности. Исследуемые речные бассейны Центральной Якутии располагаются в зоне средней тайги и сплошного распространения многолетней мерзлоты. Верхняя часть бассейна р. Амги (3291) и р. Туолбы (3206) находятся в зоне несплошной многолетней мерзлоты. Основными типами местности являются склоновый, плакорный и межаласный. Были рассчитаны доли типов местности для каждого речного бассейна, показанные в Табл. 4. 1.

Были построены и проанализированы зависимости среднемноголетнего значения и коэффициента вариации годового стока, продолжительности стока и максимального суточного слоя от доли межаласного, плакорного и склонового типов местностей. Анализ показал, что чем выше доля межаласного типа местности в речном бассейне, тем ниже и неустойчивее (коэффициент вариации выше, продолжительность меньше) сток. Река Танда (2000 км^2, 3306), полностью покрытая межаласным типом местности, характеризуется самым коротким периодом стока (89 дней) и очень низкой водностью (8

мм/год). Только р.Таатта (8290 км^2, 3628) имеет сток ниже р. Танды, который равен 1 мм/год. 75% бассейна р. Таатты относится к межаласному типу местности.

Табл. 1 Основные характеристики и доля типов местности для каждого исследуемого речного бассейна

No речного бассейна	3206	3207	3208	3209	3210	3214	3215	3217	3291	3292	3293	3306	3307	3390	3393	3559	3628	3659
Площадь, км2	14400	11600	30400	80	12200	170	408	1270	23900	56800	65400	2000	3550	5760	375	1160	8290	3380
Длина ряда данных, годы	58	41	28	6	77	65	8	36	78	60	76	24	69	51	10	17	10	25
Тип местности (по Карте…, 1991)																		
Мелкодолинный	2	2	6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	7	7	0	3	9	0
Песчано-грядовый средневысотных террас	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0
Межгрядово-низинный средневысотных террас	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	49	0	0	0
Межаласный	0	0	0	0	2	0	48	71	0	0	1	100	0	16	51	0	75	89
Плакорный	34	47	44	39	36	0	0	6	28	31	30	0	44	9	0	64	7	2
Склоновый	64	51	50	61	62	100	52	23	61	61	60	0	49	34	0	34	9	9
Горно-склоновый	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0
Другие	1	0	0	0	0	0	1	0	5	4	6	0	0	1	0	0	0	0

Чем выше доля склонового типа местности в речном бассейне, тем выше среднемноголетний и максимальный суточный сток рек, а также дольше период стока. Речные бассейны с долей склонового типа более 60% характеризуются среднемноголетним стоком выше 75 мм/год и максимальным суточным слоем более 3 мм/сут. Исключением является р. Шестаковка, которая полностью покрыта склоновым типом местности, однако имеет невысокий среднемноголетний (25 мм/год) и максимальный суточный (1.64 мм/сут) сток. Это может быть связано с несоответствием масштаба используемой карты типов местности (1:2 500 000) и площадью бассейна р. Шестаковки, равной 170 км^2, а также с локальными условиями на водосборе, такими как существование надмерзлотных водоносных таликов.

Не выявлено связи гидрологических характеристик с долей плакорного типа местности в ландшафтной структуре речного бассейна.

Характерным для межаласного типа местности является широкое распространение полигонально-жильных льдов и покровных суглинков с высокими значениями объемной льдистости. Глубина протаивания, как правило, не превышает 1 м. Повсеместно развит термокарстовый процесс, который обуславливает большое количество термокарстовых озер. Так, в бассейне р. Таатты расположено около 2300 озёр, в бассейне р. Суолы – около 1600 термокарстовых озер. Кроме межаласного типа местности термокарстовый процесс характерен для межгрядово-низинного и мелкодолинного типов. Доля типов местности,

для которых характерен термокарст, хорошо согласуется с разделением речных бассейнов по величине и устойчивости стока на три группы, описанные выше. Реки первой группы с устойчивым высоким стоком имеют не более 4% площади, покрытой «термокарстовыми» типами местности. Реки третьей группы с неустойчивым низким стоком характеризуются долей «термокарстовых» типов от 48 до 100%. Переходный тип имеет разнообразную ландшафтную структуру с долями «термокарстовых» типов от 0 до 100%.

Возможными причинами низкого и неустойчивого стока рек, водосборы которых покрыты «термокарстовыми» типами местности, могут являться:

1) отсутствие разгрузки с термокарстовых озер и их водосборов в реку из-за отсутствия уклона, то есть существование значительных бессточных областей на водосборе;

2) высокое испарение со снега весной и с водной поверхности озер летом;

3) поглощение части стока подозерными таликами и фильтрация в меж- и подмерзлотные водоносные горизонты, которые не дренируются рекой в пределах исследуемых водосборных бассейнов.

Выводы

Сток рек Центральной Якутии характеризуется высокой пространственной изменчивостью, которая не может быть объяснена вариациями осадков по территории. По соотношению величин среднемноголетнего стока и коэффициента его межгодовой изменчивости реки Центральной Якутии могут быть разделены на три групп: с устойчивым высоким стоком, с неустойчивым низким стоком и переходная группа. Большой разброс значений продолжительности стока перемерзающих рек, отсутствие зависимости максимального суточного стока от площади бассейна, различие среднемноголетних слоев стока на смежных речных водосборах в десятки раз говорит о преобладающем влиянии факторов подстилающей поверхности в формировании стока по сравнению с гидрометеорологическим воздействием. Выявлено, что чем выше доля межаласного типа местности, тем ниже и неустойчивее (коэффициент вариации выше, продолжительность меньше) сток. Чем выше доля склонового типа местности в речном бассейне, тем выше среднемноголетний и максимальный суточный сток рек, а также дольше период стока.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 17-05-00926

Список литературы

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации (АИС ГМВО) // Сайт: СевКавНИИВХ, 2014. URL: https://gmvo.skniivh.ru (дата обращения: 01.08.2016)

Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России — СПб.: РГГМУ, 2001: 209 с.

Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза Л.: Гидрометеоиздат, 1962: 552 с.

Гидрологический ежегодник. Том 8.Вып. 0 - 7. Бассейн морей Лаптевых и Восточно-Сибирского до р. Колымы (1936-1980) // Якутское УГМС, г.Якутск

Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. Вып. 16. Бассейны рек Лены (среднее и нижнее течение), Хатанги, Анабара, Оленька, Яны, Индигирки (1981-2007) // Якутское УГМС, г.Якутск

Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1:2 500 000 / Отв. ред. П.И. Мельников. М., Комитет геодезии и картографии СССР, 1991, 2 л.

Spatial variability of streamflow at small, medium and large rivers in Central Yakutia

***Lebedeva L.S.*[1], *Makarieva O.M.*[1,2,3,4]**
[1]*Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk*
[2]*Gidrotehproekt Ltd., St.Petersburg*
[3]*St. Petersburg State University*
[4] *State Hydrological Institute, St. Petersburg*
lyudmilaslebedeva@gmail.com

Abstract: The aim of the study was to analyze the spatial variability of river flow in Central Yakutia and to relate it with different permafrost landscapes. 18 river basins with catchment areas from 80 to 65400 km^2 and daily discharge timeseries from 6 to 78 years were used for analysis. The rivers with a stable high flow (>100 mm/year), with an unstable low flow (<24 mm/year) and transitional (from 20 to 100 mm/year) are distinguished by the ratio of the mean annual flow and its variation coefficient. High spatial variability can not be explained by precipitation distribution over the studied territory and is associated with land cover types. The higher proportion of alas land cover type, that is characterized by the presence of polygonal ground ice and thermokarst, the lower and less stable flow (variation coefficient higher, flow duration is less). The higher fraction of the slope land cover type, the higher the mean annual and maximum daily river flow and the longer the runoff period.

Keywords: Spatial variability of the river streamflow, Central Yakutia, continuous permafrost, variation coefficient

Гидрологическое моделирование в криолитозоне России как возможность исследовать механизмы формирования стока на различных пространственных масштабах

***Лебедева Л.С.*[1], Макарьева О.М.[1,2,3,4], Нестерова Н.В.[2,4]**
[1] *Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск*
[2]*Санкт-Петербургский государственный университет*
[3]*ООО НПО Гидротехпроект, Санкт-Петербург*
[4] *Государственный Гидрологический институт, Санкт-Петербург*
lyudmilaslebedeva@gmail.com

Аннотация: Целью работы является оценить возможности модели Гидрограф для исследования механизмов формирования стока в криолитозоне России на масштабах от микроводосборов до крупных речных бассейнов на примере четырех регионов: верховья р. Колымы, Центральная Якутия, водораздел рр.Лены и Индигирки и Южная Якутия. На примере действующих или исторических гидрологических стационаров – Колымская воднобалансовая станция, р.Шестаковка, Сунтар-Хаята, полигон Могот, а также набора средних и крупных малоизученных речных бассейнов в каждом регионе было реализовано моделирование, которое включало следующие этапы: 1) сбор всей существующей количественной и качественной информации о процессах и условиях формирования стока, 2) анализ информации и построение концепции формирования стока на исследуемом объекте, 3) оценка параметров гидрологической модели на основе собранной информации и построенной концепции, 4) уточнение параметров, относящихся к процессам на склоне, по данным о переменных состояниях снега и почвы, 5) уточнение параметров подземного питания по гидрографам стока на малом исследовательском водосборе, 6) перенос параметров, относящихся к процессам на склоне, и уточнение параметров питания на крупных малоизученных водосборах в схожих условиях. Анализ данных специальных и стандартных наблюдений и результатов моделирования позволяет судить о механизмах и специфических факторах формирования стока, количественно оценить те процессы, наблюдения за которыми отсутствуют, выявить ограничения модели и ошибки в данных. Предложенный подход полезен в решении как научных, так и прикладных задач гидрологии в условиях нестационарной окружающей среды.

Ключевые слова: Гидрологическое моделирование, крилитозона, гидрологический стационар, модель Гидрограф, проблема масштаба, параметры модели

Введение

Гидрологическое моделирование широко применяется для решения многочисленных прикладных задач гидрологии и управления водными ресурсами. Многие модели создаются и калибруются под конкретные задачи, речные бассейны, фазы водного режима и т.д. Целью работы является оценить возможности модели Гидрограф в качестве инструмента для исследования механизмов формирования стока в криолитозоне России на масштабах от микроводосборов до крупных речных бассейнов.

Подход был реализован в нескольких регионах криолитозоны России, где располагаются действующие или исторические гидрологические стационары – Колымская воднобалансовая станция (КВБС) и верховья р. Колымы, р.Шестаковка и Центральная Якутия, Сунтар-Хаята и водораздел рр.Лены и Индигирки, полигон Могот и Южная Якутия.

Материалы и методы

Единый методологический подход по оценке, обобщению и систематизации параметров модели Гидрограф был реализован в нескольких регионах криолитозоны

России. Подход включает в себя сбор и анализ данных, характеризующих процессы формирования стока на масштабе склона, выделение стокоформирующих комплексов (СФК), оценку параметров СФК по данным исторических или собственных полевых работ. Определенные на независимом материале параметры модели уточняются на этапе моделирования процессов на масштабе склона – глубин протаивания и промерзания, температуры и влажности почвы, характеристик снежного покрова. Уточненные наборы параметров СФК используются для моделирования гидрографов стока и элементов водного баланса на масштабе микроводосборов и затем переносятся на средние и крупные речные бассейны региона. При этом параметры СФК остаются неизмененными. Параметры подземного питания оцениваются в зависимости от площади водосбора и имеющейся информации о связи реки с подземными водами. Анализ расхождений рассчитанных и наблюденных переменных состояний и гидрографов речного стока на различных пространственных масштабах позволяет делать выводы о механизмах формирования стока, а также его пространственной и временной изменчивости.

Объекты исследований

Центральная Якутия. Водосбор р. Шестаковка – п. Камырдагыстах (площадь водосбора – 170 км^2) располагается на левом берегу р. Лены в 20 км к югу от Якутска в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты мощностью 200-400 м. Пост сети Росгидромет функционирует с 1951 непрерывно по настоящее время. С 1977 г. действует мерзлотно-гидрогеологический стационар Института мерзлотоведения СО РАН. Территория Центральной Якутии характеризуется резко континентальным климатом со среднегодовой температурой воздуха -9.5°С. Среднее многолетнее количество осадков за год на станции Якутск за 1951-2014 гг. составляет 239 мм, за теплый период - 158 мм.

Верховья р. Колымы. КВБС охватывает водосбор руч. Контактового площадью 22 км^2, который располагается в бассейне р. Кулу, правого притока р. Колымы в верхней части ее бассейна (Магаданская область). Абсолютные высоты станции варьируются от 830 до 1690 м, уклон склонов достигает 40°. Среднегодовая температура на метеорологической площадке Нижняя за 1948-1995 гг. составляет -11.4°С (Сущанский, 2002). Количество осадков на территории станции варьируется от 290 до 460 мм. Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) изменяется от 100 до 400 м (Отчет…, 1970). Глубины сезонно-талого слоя (СТС) в зависимости от положения на склоне и ландшафта меняются от 0.3 до 2.5 м. Воднобалансовая станция действовала непрерывно с 1948 по 1996 г. До настоящего времени функционирует гидрологический пост и метеостанция.

Сунтар-Хаята. Высокогорная гляциологическая станция Сунтар-Хаята располагается в верховье водосбора р.Сунтар-устье р.Сахарынья, имеющего площадь 7680 км^2 и принадлежащего бассейну р.Индигирка. Данные специальных наблюдений доступны для периода 1957-1959 гг., когда проводились исследования в рамках программу Международного геофизического года (Граве, 1960). Территория относится к зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты, ее мощность под водоразделами составляет 400-600 м, под речными долинами – 200-300 м. Климат исследуемого района резко континентальной с наличием высотной поясности и температурных инверсий. Среднегодовая температура составила -13,8 и -14,1 ºС на станциях Сунтар-Хаята (2068 м, 1957-1964 гг.) и Агаякан (776 м, 1957-2012 гг.) соответственно. Среднемноголетнее количество осадков колеблется от 224 мм (Агаякан) до 688 мм (Сунтар-Хаята).

Могот. Гидрологический полигон «Могот» Байкало-Амурской экспедиции ГГИ расположен в средней части южного склона средневысоких хребтов Станового и Тукурингра в 60 км к северу от г. Тында на водоразделе рек Амур и Алдан и занимает водосбор р. Нелки площадью 30,8 км^2 и трех ее притоков с площадями 3-5,8 км^2. Дополнительные наблюдения проводились на близлежащем водосборе р. Цыганки

площадью 150 км^2 (Василенко, 2013). Природные условия территории типичны для низкогорных среднетаежных ландшафтов южного склона Станового хребта. Среднегодовая температура воздуха составляет -7,5 °С. С апреля по сентябрь выпадает более 80 % годовой суммы осадков при норме около 560 мм. Полигон расположен в зоне распространения сплошной многолетней мерзлоты мощностью 100–250 м.

Результаты

Центральная Якутия. В качестве стокоформирующих комплексов для моделирования гидрографов стока р.Шестаковки выделены сосновые леса (с таликами и без), лиственнично-березовые леса, мари и болота. Набор параметров для каждого СФК оценен по результатам полевых работ предшественников, собственных исследований и литературных данных. Получены удовлетворительные результаты моделирования температуры, влажности почвы и высоты снежного покрова на суточном расчетном интервале. Рассчитанные и наблюденные годовые характеристик стока практически совпадают. Сходимость ежедневных рассчитанных и фактических расходов воды р.Шестаковки сильно отличается от года к году.

По результатам анализа данных и моделирования выявлена замедленная реакция стока р. Шестаковки на метеорологическое воздействие на различных временных масштабах: сутки, декады, месяцы и годы. Показано, что сток реки имеет наибольший коэффициент корреляции (КК) с осадками не за текущий временной интервал, а за сумму текущего и нескольких предыдущих. Так, максимальный КК годового стока (0.63) наблюдается с суммой осадков за текущий и два предшествующих года, а с текущим КК равен 0,45. Время реакции водосбора р. Шестаковки на осадки в теплый период года составляет 20-40 дней. Половодье р. Шестаковки формируется за счет поверхностного стока на марях и лиственнично-березовых лесах, а сток летнего сезона – за счет стока СТС и таликов в сосновых лесах.

В центральной части бассейна р. Лена для моделирования было выделено пять водосборов рр. Амги, Суолы и Таатты, обеспеченных ежедневными гидрологическими и метеорологическими данными с площадями водосборов от 1270 до 65400 км^2. Для моделирования были использованы суточные данные 13 метеорологических станций. Период расчета составил 32 года – с 1980 по 2012 гг. Согласно мерзлотно-ландшафтной карте Якутии 1:2 500 000 (1991) основными типами местности на водосборах рр. Амги, Суолы и Таатты являются межаласный, плакорный, склоновый и горно-склоновый. Были выделены пять СФК, два из которых совпадали с СФК, выделенными при моделировании бассейна р.Шестаковки, а один – с СФК, выделенном на КВБС: 1) сосновые леса на пологих песчаных склонах и водоразделах – склоновый тип местности, 2) лиственнично-березовые леса – плакорный тип местности, 3) мохово-лишайниковое лиственничное редколесье – горно-склоновый тип местности, 4) луга аласных котловин – межаласный тип местности, 5) межаласные залесенные пространства – межаласный тип местности. Параметры СФК 1-3 переносились с водосборов р.Шестаковки и руч. Контактового без изменений. Параметры двух СФК, относящихся к межаласному типу местности, оценивались по описаниям почвенных разрезов, выполненных на типичных для Центрально-Якутской таежно-аласной провинции стационарах "Нелегер" и "Спасская Падь" (Федоров и др., 2006). Сходимость рассчитанных и фактических суточных гидрографов стока р. Амги в двух створах удовлетворительная. Сходимость рассчитанных и фактических гидрографов стока рр. Суолы и Таатты, которые находятся в непосредственной близости от р. Амги, неудовлетворительная. Опыт моделирования суточных гидрографов стока воды пяти рек в Центральной Якутии позволяют сделать вывод, что чем выше доля речного стока в расходной части водного баланса речного бассейна, тем выше качество моделирования. При сходном климате и географической близости водосборов локальные факторы формирования стока (например, термокарстовые

озера, характерные для межаласного типа местности), не учитываемые при моделировании, могут играть ключевую роль в формировании стока.

Верховья р. Колымы. На основе анализа условий формирования деятельного слоя и стока воды в различных ландшафтах КВБС выделены четыре репрезентативных типа подстилающей поверхности - 1) каменная осыпь, 2) горная тундра и заросли кедрового стланика, 3) мохово-лишайниковое редколесье, 4) лиственничный лес, в том числе в условиях прируслового талика. Для каждого типа разработана схематизация почвенно-растительного покрова, оценены параметры модели и создана база данных их значений. Проведены расчеты глубин протаивания и стока воды в различных ландшафтах КВБС и бассейне р. Контактовый с суточным расчетным интервалом, их результаты оценены как удовлетворительные и хорошие.

По данным наблюдений и моделирования испарение с лиственничных лесов и заболоченных низменностей было оценено равным 140 мм/год, с редколесий и зарослей кедрового стланика – 134 мм/год, с горных тундр – 112 мм/год, с каменных осыпей – 72 мм/год. На пойме руч. Контактового развит неперемерзающий прируслового талик. Летом воды прируслового талика образуют единую гидравлическую систему с водами СТС и ручья. В течение зимнего периода вплоть до начал снеготаяния происходит падение уровней таликовых вод. В каменных осыпях наблюдается сезонное и межгодовое криогенное перераспределение стока воды – процесс образования внутригрунтового льда при попадании талой воды в толщу каменной осыпи и последующего его вытаивания в течение теплого сезона года и, в некоторых случаях, в следующие годы. Каменные осыпи являются распространенными типами подстилающей поверхности на Северо-Востоке России, что позволяет сделать вывод о значимости этого процесса в формировании стока рек этого региона.

В верхней части бассейна р. Колымы вблизи КВБС в целях моделирования было выделено шесть речных бассейнов с площадями водосборов от 65 до 42600 км^2. Использовалась метеорологическая информация с 12 метеостанций, расположенных на высотах от 350 до 1000 м. Сходимость рассчитанных и наблюденных гидрографов стока шести моделируемых рек в верховьях р. Колымы удовлетворительная. Разница между среднемноголетними значениями рассчитанного и наблюденного слоя стока не превышает 10 мм. Критерии сходимости Нэша-Сатклиффа (NSE) и BIAS, рассчитанные по суточным данным, варьируются для шести бассейнов в пределах 0,13-0,75 и -2…-7.1% соответственно. Перенос параметров модели с масштаба склона на масштаб речного бассейна зарекомендовал себя эффективным подходом при моделировании малоизученных бассейнов Северо-Востока России.

Сунтар-Хаята. В результате анализа данных Высокогорной станции Сунтар-Хаята и данных КВБС водосбор р.Сунтар был разделен на четыре стокоформирующих комплекса согласно высотной поясности: 1) гольцовый комплекс, 2) пояс горной тундры, 3) тайга и заболоченные редколесья и 4) луговые болота. В предположении, что процессы формирования стока в горных районах верховьев р. Колымы и в бассейне р. Сунтар схожи, параметры для СФК 2-4 переносились с КВБС. Для гольцового комплекса разработана схематизация почвенно-растительного покрова и оценены параметры модели на основе данных специальных наблюдений. Результаты моделирования переменных состояния были признаны удовлетворительными.

Для верификации результатов расчета теплового баланса деятельного слоя были использованы наблюденные среднемесячные значения температуры грунта на нескольких горизонтах на площадке станции Сунтар-Хаята за 1958 год. Средние абсолютные отклонения рассчитанных месячных температур от наблюденных величин составили 1,4 ºС, 1,5 ºС, 1,1 ºС и 0,6 ºС на глубинах 5, 50, 100 и 200 см соответственно. На основе

данных снегомерных съемок, которые проводились в районе станции на продольном профиле длиной 3 км с амплитудой высот более 400 м, был рассчитан коэффициент вариации снежного покрова, составивший 0,57. Он был использован при моделировании перераспределения снежного покрова в гольцовом ландшафте. Сравнение рассчитанного и наблюденного значений испарения также показало удовлетворительные результаты. Наблюденная величина суммарного испарения за август 1958 года достигала 44 мм. Рассчитанное значение за аналогичный период составило 37 мм, а в среднем за теплый период 1957-1964 гг. – 50 мм. Результаты расчета не противоречат наблюдениям на каменных осыпях КВБС.

За период 1957-1964 гг. рассчитанный годовой слой осадков для бассейна р. Сунтар составил в среднем 344 мм, рассчитанный слой стока воды – 199 мм, что в среднем на 10% выше наблюденной величины слоя стока (180 мм). Средний NSE для рассчитанных гидрографов в замыкающем створе составил 0,75. На основе результатов моделирования произведена оценка элементов водного баланса для каждого СФК. На гольцовый комплекс, занимающий 7 % территории водосбора, приходится 20 % общего стока в замыкающем створе р. Сунтар, а коэффициент стока достигает 0,92. Наибольший вклад в формирование стока р. Сунтар вносят тундры с долей стока 49 % и коэффициентом стока 0,74. Суммарный сток с ландшафтов тайги и заболоченных редколесий, занимающих 56 % территории, составляет около 31%. Модельные расчеты позволили оценить вклад ландшафтов в формирование стока воды в замыкающем створе горной реки, а также предложить уточнения справочных величин среднемноголетних годовых осадков и испарения для района исследования.

Могот. Согласно анализу сочетаний различных типов почвы, растительности и топографических условий все водосборы исследовательского полигона были разделены на четыре СФК: вершины водоразделов, склоны теневой и световой экспозиции, долины рек. Параметризация модели производилась с использованием данных о распределении и физических свойствах почвогрунтов на различных глубинах и подстилающей поверхности на основе описаний Н.Г. Василенко (2013).

Данные по испарению с почвы и снежного покрова, снегомерным съемкам, температуре почвы на различных глубинах, а также глубинам протаивания и промерзания почвогрунтов использованы для оценки и уточнения параметров модели. Максимальные фактические значения СТС не превышают 150 см (Василенко, 2013), в то время как рассчитанные величины достигают 160 см. Рассчитанные сроки промерзания в некоторые годы запаздывают по сравнению с наблюденным, однако динамика процесса описывается моделью адекватно. Дополнительно проведено сравнение рассчитанной и наблюденной температуры почвы на глубинах 50, 100, 150 см для площадки, расположенной на склоне теневой экспозиции за период 1979–1981 гг. Несмотря на неполный ряд наблюденных данных, результаты сравнения этих значений с рассчитанными следует признать удовлетворительными. Для определения суммарного испарения за годовые и месячные интервалы Василенко (2013) был использован метод водного баланса, по которому среднемноголетний годовой слой испарения с бассейна р. Нелки за период 1977–1985 гг. составил около 325 мм. Аналогичное модельное значение испарения с поверхности водосбора достигло 327 мм. В целом, результаты моделирования переменных состояний на водосборе р. Нелки показывают, что модель и набор параметров удовлетворительно воспроизводят процессы, происходящие на водосборе.

Непрерывное моделирование стока было произведено за период работы полигона «Могот» (1976-1985 гг.) для бассейнов р. Нелки с ее притоками и р. Цыганки. Разница между годовыми рассчитанными и наблюденными слоями стока на водосборе р.Нелка составляет 28 мм (менее 10%). Максимальное значение критерия NSE достигает здесь 0,87 в 1981 году. Для малых водосборов отклонение может превышать 100 мм (например, р. Захаренок). Мы связываем это с низким качеством учета стока на малых ручьях. В

среднем годовой слой стока на ручьях составляет 238 мм, а их площадь – 46% от площади водосбора р. Нелки. Таким образом, с учетом стока р. Нелки в 295 мм на оставшуюся часть (56%) должно приходиться около 340 мм слоя стока. При условии, что данная территория характеризуется схожим распределением стокоформирующих комплексов, такая разница (более 100 мм) выглядит недостоверной. Медианные значения NSE для водосборов малых и средних рек варьируется от 0,35 до 0,71. Удовлетворительные значения NSE и значительная невязка баланса на ручьях указывают на то, что данный критерий лишь ограниченно характеризует качество моделирования.

Выводы

Гидрологическое моделирование представляет единый методологический базис для исследования процессов формирования стока на водосборах в зоне мерзлоты от масштаба склона до средних и крупных речных бассейнов. Он включает в себя следующие этапы: 1) сбор всей существующей количественной и качественной информации о процессах и условиях формирования стока, 2) анализ информации и построение концепции формирования стока на исследуемом объекте, 3) оценка параметров гидрологической модели на основе собранной информации и построенной концепции, 4) уточнение параметров, относящихся к процессам на склоне, по данным о переменных состояниях снега и почвы, 5) уточнение параметров подземного питания по гидрографам стока на малом исследовательском водосборе, 6) перенос параметров, относящихся к процессам на склоне, и уточнение параметров питания на крупных малоизученных водосборах в схожих условиях. Предложенный подход позволяет получить удовлетворительные результаты моделирования на разных пространственных масштабах с учетом физических закономерностей формирования стока (right answers for rights reasons; Kirchner, 2006) и на основе моделирования количественно оценить те процессы, наблюдения за которыми отсутствуют. В случае неудовлетворительных результатов (wrong answers for right reasons) выявляются ограничения модели, специфические факторы формирования стока и ошибки в данных. Предложенный метод имеет ограничения, которые заключаются в большом количестве необходимой информации, значительных временных затратах, особой квалификации исполнителей и относительном субъективизме при оценке и уточнении параметров. Учет физических закономерностей формирования стока представляется необходимым в решении как научных, так и прикладных задач гидрологии в условиях нестационарной окружающей среды.

Список литературы

Василенко Н. Г. Гидрология рек зоны БАМ: экспедиционные исследования. СПб.: Нестор-История, 2013. 672 с.

Граве Н.А., Корейша М.М. Отчет об исследованиях станции Сунтар-Хаята за 1959 г. Часть II, Якутск – СВО Института мерзлотоведения, Москва. Институт мерзлотоведения, Якутск, 1960

Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1:2 500 000 / Отв. ред. П.И. Мельников. М., Комитет геодезии и картографии СССР, 1991, 2 л.

Федоров А.Н. “Спасская Падь”: комплексные исследования мерзлотных ландшафтов / А.Н. Федоров, Т.Х. Максимов, П.П. Гаврильев и др. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2006, 210 с

Kirchner, J. W. Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology // Water Resour. Res., 42, 2006. W03S04, doi:10.1029/2005WR004362.

Hydrological modelling in Russian permafrost as a tool to investigate runoff formation mechanisms at different spatial scales

***Lebedeva L.S.*[1], Makarieva O.M.[1,2,3,4], Nesterova N.V.[3,4]**
[1]*Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk*
[2]*Gidrotehproekt Ltd., St.Petersburg*
[3]*St. Petersburg State University*
[4] *State Hydrological Institute, St. Petersburg*
lyudmilaslebedeva@gmail.com

Abstract: The aim of the study is to evaluate the capabilities of the Hydrograph model for investigation of the runoff formation mechanisms in Russian permafrost zone from the slope scale to large river basins by the example of four regions: upper Kolyma, Central Yakutia Lena and Indigirka rivers water divide and Southern Yakutia. Simulation was carried out using data from existing or historic research watersheds – the Kolyma water balance station, the Shestakovka river, the Suntar Khayata river, the Mogot site, and a set of middle-sized and large poorly studied river basins in each region. It included the following steps: 1) the collection of existing quantitative and qualitative information regarding runoff formation processes, 2) analysis of information and development of a concept of runoff formation at the studied site, 3) estimation of the hydrological model parameters based on collected data and developed concept, 4) refinement of the parameters related to slope processes using data on the snow and soil variable states, 5) refinement of the parameters of the underground water based on hydrograph shape of small research watersheds, 6) transfer of parameters related to slope-scale processes to larger poorly studied watersheds under similar conditions, and refinement of underground water parameters. Analysis of data from special and standard observations and simulation results leads to deeper understanding of mechanisms and specific factors of flow formation, quantify those processes that are not measured, reveal model limitations and data errors. The proposed approach is useful in solving both scientific and applied hydrological tasks in non-stationary environment.

Keywords: Hydrological modelling, permafrost, research watershed, Hydrograph model, scale problem, model parameters

Растворенное органическое вещество в природных водах типичного речного бассейна Центральной Якутии

Луценко Т.Н. [1], ***Шамов В.В.*** [1,2], ***Ксенофонтова М.И.*** [3], ***Лебедева Л.С.*** [2]
[1]*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток*
[2]*Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск*
[3]*НИИ прикладной экологии севера СВФУ, г. Якутск*
vlshamov@yandex.ru

Аннотация: В апреле–мае 2016 и 2017 гг. были проведены интенсивные криогидролого-гидрохимические исследования на экспериментальном водосборе р. Шестаковки. В числе ключевых участков –гидрологические посты на реке, русловые расширения-бочаги, озёрные посты, пост на торфяной мари, скважины в районах субаэральных таликов, наледный пост; также отбирались пробы снега и дождя. Цель работы – оценка пространственного-временной динамики концентраций основных ионов и растворенного органического вещества (РОВ).

Концентрации углерода РОВ в реке и озерах в 2016 г. варьировали от 36 до 127 (среднее 80) мг/л и от 49 до 238 (среднее 140) мг/л. В 2017 г. они изменялись в пределах 73–255 (среднее 213) мг/л в реке и 159–794 (среднее 377) мг/л в озерах. Анализ спектров поглощения вод в УФ-видимом диапазоне показал, что в 2017 г. РОВ бассейна было представлено низкомолекулярными фракциями с низкой степенью гумификации. Динамика РОВ контролируется условиями водности и процессами промерзания-протаивания, что объясняет в 2-4 раза более высокую минерализацию всех вод в 2017 г. по сравнению с 2016 г. Межгодовые различия выявились в ионном составе: в 2016 г. воды всех объектов имели гидрокарбонатно-Na-Ca состав, в 2017 г. –гидрокарбонатно-Na-Mg (Ca-Mg; Mg-Na) состав. Повышение доли Mg и Na указывает на более высокую степень концентрирования и криогенной метаморфизации химического состава вод в 2017 г. Важная роль криогенного фактора подтверждается и $Fe_{общ}$, содержание которого в 2016 г. во всех типах вод изменялось в пределах 0,05–6,71 мг/л за счет миграции более гумифицированного РОВ, способного образовывать комплексы с Fe. Во всех пробах 2017 г. концентрации $Fe_{общ.}$ были ниже предела обнаружения, поскольку РОВ было представлено преимущественно низкомолекулярными алифатическими соединениями, не способными связывать Fe.

Ключевые слова: минерализация, РОВ, снег, река, озера, талик, УФ-поглощение

Введение

В последние десятилетия в связи с глобальным изменением климата интенсивно исследуется РОВ арктических рек, это связано с их значимым вкладом в общий пул ОВ. Гораздо меньше внимания уделяется малым рекам, в водосборах которых формируется первичный состав РОВ. При промерзании-протаивании пород криолитозоны меняется химический состав вод в сторону выведения из раствора малорастворимых соединений (Анисимова, Павлова, 2014). Особенно важна роль РОВ, поскольку оно отжимается в раствор и концентрируется. В зоне мерзлоты экспорт РОВ контролируется временем его пребывания в ландшафте и путями воды через слой постилки и почвы. Исследования в малом водосборе позволяют изучить особенности РОВ разных типов ландшафтных вод и процессы трансформации его состава. В качестве объекта исследований был выбран хорошо изученный бассейн р. Шестаковки, где Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН проводит многолетние геокриологические исследования.

Материалы и методы

В апреле–мае 2016 и 2017 гг. были проведены интенсивные исследования динамики криогидролого-гидрохимических условий на ключевых участках экспериментального водосбора р. Шестаковки, площадь которого составляет 170 кв.км. (рис. 1). Долина р. Шестаковки врезана в эрозионно-денудационный склон древней аллювиальной равнины с холмисто-увалистым рельефом с многочисленными понижениями. Геологические условия территории характеризуется отложениями кайнозойского и мезозойского возраста. Около половины площади бассейна занимают сосновые леса, менее 40%-лиственично-березовые леса, мари и болота составляют 14%, озера-1%. В числе ключевых участков – два гидрологических поста на реке и русловые расширения-бочаги, 3 озёрных поста, пост на торфяной мари, скважины в районах субаэральных таликов, наледный пост; отбирались также пробы снега.

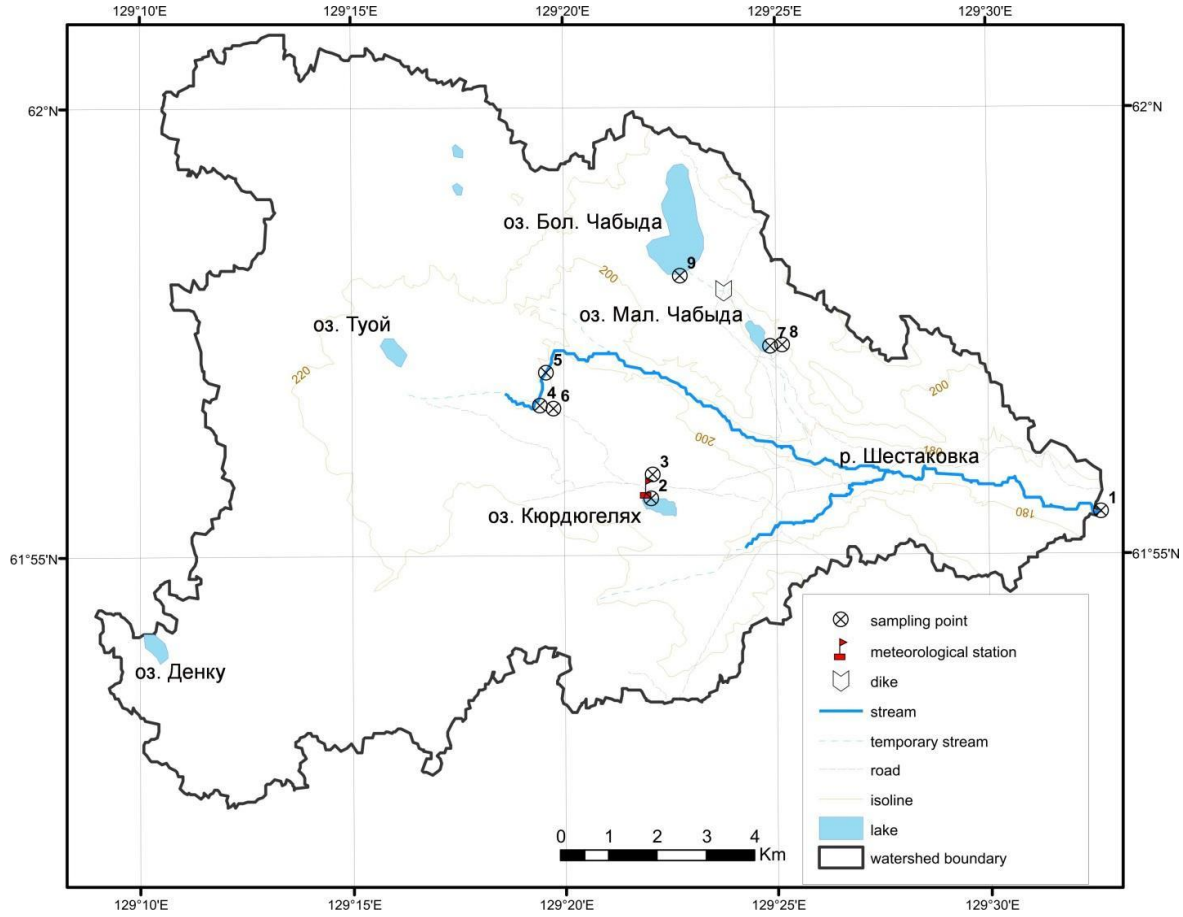


Рис. 1. Экспликация наблюдательной сети на водосборе р. Шестаковки

При отборе воды определяли pH и электропроводность, в этот же день пробы были профильтрованы через фильтры (0.2 мкм). По стандартным методикам в лаборатории НИИ прикладной экологии севера СВФУ в пробах проводился анализ на содержание основных растворенных компонентов макросостава и микроэлементов.

Концентрацию углерода РОВ определяли в лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН термокаталитическим окислением с ИК-регистрацией (анализатор TOC-VCPN, Shimadzu). Коэффициент вариации анализа проб и стандартов не превышал 3%. Электронные спектры поглощения записаны в интервале 200-800 нм (ShimadzuUV–2450 PC). Коэффициент $SUVA_{254}$ представляет собой отношение поглощения при длине волны 254 нм к концентрации углерода РОВ. Крутизну наклона спектральной кривой оценивали по

величине соотношения E_{250}:E_{365}(E_2:E_3), а также - по величине отношения S_R (Helms et al., 2008).

Результаты

Атмосферные осадки (снег) в 2016-2017 гг. имели pH от 6,40 до 7,00. Средняя минерализация в 2016 г. составила 11,8 мг/л и соответствовала средним данным метеостанции в Якутске (Макаров, 2007). Однако минерализация снега в 2017 г. была выше: 70-75 мг/л и объяснение этому пока не найдено. По составу ионов снеговые воды гидрокарбонатно-натрий – кальциевые: Na^+(31-33 %-экв), Ca^{2+} (46-48 %-экв), но могут быть и гидрокарбонатно-кальций – натриевыми: Ca^{2+} (37-39 %-экв), Na^+ (43-48 %-экв).

В 2016 г. концентрация углерода РОВ снега варьировала от 1 до 41 мг/л, в 2017 она была в несколько раз выше и изменялась от 73 до 193 мг/л (Табл. 1). Показатели качественного состава- индексы $SUVA_{254}$ снеговых вод низкие (0,02-0,03 л*$мг^{-1}м^{-1}$), а индексы E_2:E_3 и S_R - самые высокие. Это косвенно свидетельствует о преобладании соединений РОВ алифатического строения со сравнительно низкими молекулярными массами (ММ).

В 2016 г. воды реки были гидрокарбонатно-натрий-кальциевыми. В конце апреля 2017 г. по преобладанию Mg^{2+} еще прослеживался вклад криогенеза, но к середине мая за счет снеговых вод доля Ca^{2+} превышала 54 %-экв. Концентрации углерода РОВ в 2016 г. варьировали от 36 до 127 мг/л, в 2017 г.-от 73 до 255 мг/л. Индексы $SUVA_{254}$ изменялись от 0,30 до 1,47 л*$мг^{-1}м^{-1}$, что в десятки раз выше, чем в снеге, т.к. в реки выносятся почвенные растворы с относительно высокими ММ РОВ. Это согласуется с более пологим характером спектров: E_2:E_3 варьирует от 5,18 до 6,06; S_R составляет 0,7-0,9.

Гидрохимия бочагов изучена недостаточно**.** В них зафиксированы минерализация и содержания углерода РОВ, в 2-3 раза выше таковой вод основного русла. Высокое содержание РОВ может указывать на важную роль бочагов в формировании РОВ речных вод, но для подтверждения этого нужны данные детальных наблюдений в бочагах.

В 2016 г. в бочагах определено содержание $Fe_{общ.}$ на уровне 4-6 мг/л. В 2017 г. в бочагах концентрации макроионов и углерода РОВ были выше в несколько раз, чем в 2016 г. Весной 2016 г. в водах бочагов главными катионами были Ca^{2+} (47-51%-экв) и Na^+(27-29%-экв), в 2017 г. преобладающим являлся Mg^{2+} (44,4 %-экв). По качественному составу РОВ представлено менее гумифицированными низкомолекулярными соединениями, чем в основном русле, поскольку в водах бочага при высокой степени концентрирования уменьшается растворимость высокомолекулярных гидрофобных фракций РОВ и результатом является их осаждение.

В озерах Б. Чабыда, М. Чабыда, Туой, Кюрдюгелях весной 2016 г. минерализация варьировала от 79 до 298 мг/л, вода имела состав гидрокарбонатно-Na^+-Ca^{2+}; весной 2017г. минерализация была выше: 263-755 мг/л и в воде, вследствие криогенеза преобладал Mg^{2+} (40-54 %-экв). Показатели pH в озерах Б. Чабыда, М. Чабыда, и Туой изменялись от 6,8 до 7,6. Содержания углерода РОВ в 2016 г. изменялись от 48,9 до 237,7 мг/л, в 2017 г. они были гораздо выше и варьировали от 159 мг/л до 794 мг/л. Воды отличались повышенными содержаниями иона аммония: до 1,3-1,6 мг/л весной 2016 г. и до 4-6 мг/л – весной 2017 г., низкими концентрациями растворенного кислорода и % его насыщения.

Качественный состав РОВ озер Б. Чабыда, М. Чабыда, Туой по индексам $SUVA_{254}$, E_2:E_3 и S_R, характеризуется доминированием автохтонных низкомолекулярных фракций. В особом положении находится оз. Кюрдюгелях: по величине pH (5,7), по концентрации углерода РОВ, значениям спектральных индексов, количественный и качественный состав РОВ озера гораздо ближе к составу РОВ р. Шестаковки. Очевидно, оз. Кюрдюгелях имеет более сильную связь с почвами водосбора. РОВ озер представлено преимущественно метаболитами биоты, относящимися к углеводам, белкам, амино- и карбоновым кислотам

и т.д. Деструкция органического вещества является основным процессом, поддерживающим биологический круговорот элементов в природе. Однако лабораторные эксперименты последних десятилетий показали, что в поверхностных водах трансформация РОВ может происходить еще и под действием УФ-излучения, и, по-видимому, РОВ озер наиболее подвержено фотолизу.

Воды таликовой наледи по данным 2017 г. слабокислые, с минерализацией 166 мг/л, гидрокарбонатно-Mg^{2+}(30,5%-экв)-Na^{+}(40,8%-экв) вследствие криогенеза. Примечательны близкие величины углерода РОВ в наледных и атмосферных водах. Снижение содержания РОВ в наледных пробах в сравнении с пробами из таликов может быть объяснено его привнесением с атмосферными выпадениями, относительно бедными органическим веществом, в течение зимы.

Табл. 1 Показатели макрососта и спектральные индексы вод бассейна р. Шестаковки в апреле–мае 2017 г.

Место отбора	№ пробы	Дата	М, мг/л	Сорг., мг/л	E_2/E_3	$SUVA_{254}$	S_R
снег, р. Шестаковка	297	21.4.17	69,8	192,7	4,55	0,02	1,21
снег, оз. Кюрдюгелях	298	21.4.17	69,8	74,6	7,93	0,03	1,39
снег, сосновый лес	302	25.4.17	74,8	73,6	7,26	0,03	1,55
снег, оз. Б. Чабыда	303	25.4.17	70,5	79,2	5,24	0,02	1,65
р. Шестаковка, верхний	308	27.4.17	148,9	255,4	5,18	0,78	0,79
р. Шестаковка, верхний	316	29.4.17	158,5	208,7	5,58	0,82	0,77
р. Шестаковка, верхний	320	30.4.17	158,6	222,9	5,53	1,01	0,77
р. Шестаковка, верхний	317	2.5.17	155,8	222,7	5,66	0,95	0,78
р. Шестаковка, верхний	323	3.5.17	169,4	228,1			
р. Шестаковка, верхний	330	6.5.17	165,1	231,0	5,50	0,88	0,79
р. Шестаковка, верхний	335	10.5.17	167,1	251,3	5,67	0,74	0,79
р. Шестаковка, верхний	341	15.5.17	170,7	227,7	5,81	0,77	0,79
р. Шестаковка, нижний	305	25.4.17	183,2	191,0	5,46	0,30	0,87
р. Шестаковка, нижний	315	29.4.17	146,4	223,4	5,63	1,07	0,75
р. Шестаковка, нижний	318	2.5.17	148,2	240,3	5,61	0,95	0,76
р. Шестаковка, нижний	321	30.4.17	149,4	176,2	5,56	1,47	0,71
р. Шестаковка, нижний	322	1.5.17	132,8	249,6	5,60	0,95	0,72
р. Шестаковка, нижний	324	3.5.17	162,2	73,0	5,54	1,03	0,73
р. Шестаковка, нижний	331	6.5.17	162,3	232,0	5,64	0,90	0,79
р. Шестаковка, нижний	336	10.5.17	173,5	188,0	5,82	0,94	0,79
р. Шестаковка, нижний	342	15.5.17	162,6	206,6	6,06	0,78	0,75
р. Шестаковка, скв.4/17	309	27.4.17	131,6	237,4			
р. Шестаковка, четка	300	21.4.17	772,2	540,4	8,33	0,53	1,09
скважина у бровки	301	21.4.17	193,4	180,9	8,01	0,05	0,96
таликовая наледь	313	28.4.17	166,2	63,6	4,63	0,08	1,32
лед маревой наледи	312	28.4.17	<	95,3	5,41	1,08	0,78
оз. Б. Чабыда	304	25.4.17	729,6	251,0	13,04	0,21	1,23
оз. М. Чабыда	306	25.4.17	755,2	793,5	11,15	0,10	1,26
оз. Туой	307	27.4.17	262,8	305,8	14,25	0,28	1,22
оз. Кюрдюгелях	327	4.5.17	545	159,2	5,77	0,96	0,75

Более высокие минерализация вод и содержание РОВ в 2017 г. по сравнению с 2016 г. связаны с разными условиями водности и промерзания-протаивания. Состав вод, источником которых являются атмосферные осадки преимущественно гидрокарбонатно–кальциевого состава, в зависимости от условий промерзания-оттаивания менялся в разной

степени. В ионном составе всех типов вод в 2016 г. преобладающим остался катион Ca^{2+}(38-64%-экв), как и в осадках, но в 2017 г. в водах реки в апреле и во всех других типах вод преобладающим был Mg^{2+}(40-54%-экв). Это позволяет сделать вывод, что состав вод в 2017 г. подвергся более глубокой криогенной метаморфизации. Более высокая степень криогенного концентрирования в 2017 г. явилась причиной того, что содержание углерода РОВ во всех типах вод выросло в несколько раз по сравнению с предыдущим годом. Хотя в 2016 г. спектральные исследования не проводились, предполагается, что РОВ, в меньшей степени измененное криогенезом, было более высокомолекулярным и гумифицированным. Эта гипотеза подтверждается распределением $Fe_{общ}$, присутствовавшего в 2016 г. во всех типах вод в содержаниях 0,05-6,71 мг/л, что является индикатором миграции высокомолекулярного РОВ, способного образовывать комплексы с Fe. Во всех пробах 2017 г. концентрации Fe общ. были ниже предела обнаружения (0,05 мг/л), поскольку РОВ было представлено низкомолекулярными алифатическими соединениями, не способными связывать Fe.

Выводы

Пространственно-временная динамика РОВ связана с условиями водности и промерзания-протаивания, проявившимися в 2-4 раза более высокой минерализации вод в 2017 г. по сравнению с 2016 г. Межгодовые различия выявились в ионном составе: в 2016 г. воды всех типов имели гидрокарбонатно-Na-Ca (Ca-Na) состав, в 2017 г. – гидрокарбонатно-Na-Mg (Ca-Mg; Mg-Na) состав. Увеличение доли Mg и Na является показателем более высокой степени концентрирования и криогенной метаморфизации химического состава вод в 2017 г.

Концентрации углерода РОВ в реке и озерах в 2016 г. варьировали от 36 до 127 (среднее 80) мг/л и от 49 до 238 (среднее 140 мг/л). В 2017 г. вследствие криогенеза они изменялись от 73 до 255 (среднее 213) мг/л и от 159 мг/л до 794 (среднее 377 мг/л), в реке и озерах, соответственно.

Качественная оценка РОВ на основе анализа спектров поглощения вод в УФ-видимом диапазоне показала, что в 2017 г. РОВ бассейна было представлено сравнительно низкомолекулярными фракциями и характеризовалось низкой степенью гумификации углерода.

Важная роль криогенного фактора подтверждается и $Fe_{общ.}$, содержание которого в 2016 г. во всех типах вод изменялось в пределах 0,05–6,71 мг/л за счет миграции более гумифицированного РОВ, способного образовывать комплексы с Fe. Во всех пробах 2017г. концентрации $Fe_{общ.}$ были ниже предела обнаружения, поскольку РОВ было представлено преимущественно низкомолекулярными алифатическими соединениями, не способными связывать Fe.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00217).

Список литературы

Анисимова Н.П., Павлова Н.А. Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии /Н.П. Анисимова, Н.А. Павлова; отв. редактор В.В. Шепелев; РАН, СО, Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова. Новосибирск: акад. изд-во «Гео», 2014. 189 с.

Макаров В.Н. Геохимический мониторинг атмосферных осадков Центральной Якутии /В.Н. Макаров; отв. Редакторд.х.н. Ф.И. Федосеева; РАН, СО, Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова. Якутск: изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2007. 88 с.

Helms J. R., Stubbins A., Ritchie J.D., Minor E.C., Kieber D. J., Mopper K.Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter //Limnol. Oceanogr., № 53, 3, 2008: 955–969

Dissolved organic matter of natural waters of the typical river basin of the Central Yakutia

Lutsenko T.N. [1], ***Shamov V.V.*** [1,2], ***Ksenofontova M.I.*** [3], ***Lebedeva L.S.*** [2]
[1]*Pacific geographical Institute f FEBRUS, Vladivostok*
[2]*Melnikov permafrost Institute of SBRUS, Yakutsk*
[3]*Research Institute of applied ecology, North-EasternFederal University, Yakutsk*
vlshamov@yandex.ru

Abstract: In the April-May of 2016-2017, intensive cryohydrological-hydrochemical studies were carried out in the experimental catchment area of the Shestakovka river. Among the sites are hydrological posts on the river, channel extensions-bochags, lake posts, post on peat mire, boreholes in areas of subaerial taliks, ice post; samples of snow were also taken. The aim of this work was to estimate the spatial-temporal dynamics of the concentrations of the major ions and dissolved organic matter (DOM). The carbon concentrations of DOM in the river and lakes in 2016 varied from 36 to 127 (mean 80) mg/l and from 49 to 238 (mean 140) mg/l. In 2017, they varied within of 73-255 (average 213) mg/l in the river and 159-794 (average 377) mg/l in lakes. Analysis of water absorption spectra in the UV-visible range showed that in 2017, the DOM was represented by a low-molecular-weight DOM with a low degree of humification.

The dynamics of the DOM is controlled by water conditions and freezing-thawing processes. More intensive cryogenesis explains the higher (by a factor of 2-4) mineralization of all types of waters in 2017 compared to 2016. Interannual differences were revealed in the ionic composition: in 2016, the water had hydrocarbonate -Na-Ca composition, in 2017, hydrocarbonate-Na-Mg (Ca-Mg; Mg-Na) one. An increase in the proportion of Mg indicates a higher degree of concentration and cryogenic transformation of the chemical composition of waters in 2017. The important role of the cryogenic factor is also confirmed by Fe_{tot}, whose content in all types of waters in 2016 varied within the range of 0.05-6.71 mg/l due to the migration of a more humified DOM capable of complexation with Fe. In all samples of 2017 the concentrations of Fe_{tot}. were below the detection limit, since the DOM was predominantly represented by low molecular weight aliphatic compounds not capable of binding Fe.

Keywords: mineralization, DOM, snow, river, lakes, talik, UV-Vis

Ионный сток арктической реки Алазея

Макаров В.Н.
Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск
vnmakarov@mpi.ysn.ru

Аннотация: Рассматриваются количественные характеристики геохимического речного стока Алазеи дающие оценку поступления растворенных веществ в Восточно-Сибирское море Северного Ледовитого океана. Бассейн р. Алазея располагается за полярным кругом, в северо-восточной части Якутии в пределах Алазея-Колымской озерно-термокарстовой тундровой провинции сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Для бассейна реки характерно минимальное антропогенное давление. Установлены основные закономерности формирования химического состава воды р. Алазея, которые определяются распространением многолетней мерзлоты и высокой заболоченностью водосборной территории. Основными источниками питания поверхностных вод служат атмосферные осадки, подземные льды сезонноталых грунтов и многолетнемерзлых пород Ионный состав воды р. Алазеи относится к гидрокарбонатному классу группы кальция и остается практически постоянным в различные гидрологические периоды. Небольшая величина модуля ионного стока 6,8 т/км^2 характерна для равнинных рек арктических регионов. Минимальные значения стока обусловлены арктическими климатическими и ландшафтными параметрами, влияющими на интенсивность химического выветривания горных пород.

Ключевые слова: Арктика, ионный сток, модуль стока, анионы, катионы, микроэлементы.

Введение

Речной сток является одним из основных источников поступления растворенных и взвешенных веществ в моря Северного Ледовитого океана. Для представления о величине и характере нагрузки на моря Российской Арктики необходимо знать количественные характеристики геохимического речного стока. В данной работе рассматриваются количественные характеристики геохимического речного стока (ионного стока) Алазеи, которые могут дать представления о поступлении растворенных веществ в Восточно-Сибирское море Северного Ледовитого океана.

Бассейн реки Алазея располагается за полярным кругом, в северо-восточной части Якутии. В административном отношении это Нижне- и Среднеколымские районы Республики Саха (Якутия). В бассейне реки проживает около 2,5 тыс. человек, занятых в основном в сельском хозяйстве (скотоводство, коневодство, оленеводство, звероводство, рыболовство и пушной промысел), что определяет минимальное антропогенное давление.

Бассейн реки Алазея наодится в пределах Алазея-Колымской озерно-термокарстовой тундровой провинции сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Мощность криолитозоны колеблется от 200-400 м в южной части бассейна реки до 400-700 м в северной.

Река Алазея образуется от слияния рек Нелькан и Кадылчан на кряже Хангас-Тас Алазейского плоскогорья (координаты истока: 67°57′46″ с. ш. 148°16′07″ в. д.), сложенного карбонатными отложениями, аргиллитами, базальтами, и на протяжении 100 км имеет горный характер. В дальнейшем река протекает по тундре Колымской низменности и впадает в Восточно-Сибирское море. Протяженность реки – 1590 км, площадь водосбора - 74 700 км^2 (по площади бассейна Алазея занимает 27-е место в

России), среднегодовой расход 320 м^3/с (Лено-Индигирский …, 1972). В бассейне Алазеи насчитывается 3 734 водотоков и 24 391 озер с общей площадью зеркала 9 330 км ^{2} (озерность бассейна реки 14,4%). Русло Алазеи очень извилистое. Наиболее крупные притоки: левый р. Рассоха (790 км), правый р. Буор-Юрях (244 км).

Внутригодовое распределение стока р. Алазеи отражает относительно большую его зарегулированность озерами. Сток за зимний сезон (ноябрь-апрель) составляет 4%, а за весь лимитирующий период (сентябрь-апрель) - 20%. При наличии сплошной мощной мерзлоты водообмен поверхностных и подземных вод осуществляется по подозерным таликам, существующими под крупными озерами. В этих условиях величина стока рек в зимнее время, находится в зависимости от степени озерности водосбора. Величина стока составляет только 27% от количества выпадающих осадков.

Для р. Алазеи характерен преимущественно снеговой тип питания; доля снегового от 22% (1977 г.) до 89% (1962 г.), дождевого – 30%. Подземный сток относительно повышенный около 6%. За период весеннего половодья проходит в среднем 63% годового стока.

В последние годы в бассейне р.Алазея вследствие гидравлического взаимодействия подземных и поверхностных вод наблюдаются опасные гидрологические процессы, связанные с подтоплением местности, вызывающие иногда временную эвакуацию жителей сел (Андрюшкино, Аргахтах).

Методика исследований

На р. Алазея сотрудниками Института физико-технических проблем Севера СО РАН под руководством Д. Д. Ноговицына, были установлены гидрометрические и гидрогеохимические створы на расстоянии 1280, 1120,1060, 825, 725, 521, 328, 46 и 3 км от впадения реки в Восточно-Сибирское море. Положение пунктов наблюдений показано на рисунке.

На каждом створе выполнялся комплекс гидрометрических и гидрогеохимических наблюдений. Изучение гидрологических характеристик поверхностных вод выполнено по методическим указаниям Государственного Гидрологического Института (ГГИ) Госкомгидромета РФ (Наставление …, 1978). Скорости потока определены измерителем скорости потока ИСП-1 ГП «Гидрометприбор». Пробы воды отбирались батометром-бутылкой на штанге (Makarov et al, 2016). Отбор проб воды на химический анализ проводился согласно ГОСТ 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб». Анализы проб воды проводились в специализированных аккредитованных лабораториях: Центргеоаналитика ГУГГП РС(Я) и Института мерзлотоведения СО РАН. Определение геохимических показателей в образцах воды проведено по методикам, прошедшим метрологическую аккредитацию и включенным в государственный реестр методик количественного химического анализа.

Результаты и обсуждение

В бассейне р. Алазеи наиболее широко распространены ландшафты на рыхлых осадочных породах кайнозоя. Среди них выделяется несколько подвидов ландшафта, сформированных на породах различного возраста – от девонских (в верхнем течении) до современных на большей части бассейна реки.

Верхнечетвертичные озерно-аллювиальные осадки покрывают значительные площади в бассейне р. Алазея, формируя типичные ландшафты пологоволнистых равнин. Это монотонная толща суглинков, глин, супесей, песков с прослоями и линзами торфа и высокой (до 30-40%) льдистостью. Мощность толщи колеблется от 10-12 до 30-50 м. На поверхность местами выходят лавы и туфы нижнемелового возраста, слагающие основание верхнечетвертичных осадков. Верхнечетвертичные-современные озерные и озерно-болотные образования формируют террасы и днища аласных котловин. Они представлены илами, алевролитами, торфами с линзами и включениями льда и массой

растительных остатков. Аллювиальные современные и верхнечетвертичные образования формируют пойменные и надпойменные террасы р. Алазея и её притоков.

Грунтовые надмерзлотные воды по химическому составу сульфатно-гидрокарбонатные магниево-кальциевые, маломинерализованные, слабокислые, с низкими начениями окислительно-восстановительного потенциала, высоким содержанием Fe (2,4 мг/л) и NH_4^- (0,6 мг/л). Деятельный слой мощностью 0,1-1,0 м содержит значительные массы воды, приходящие в движение при положительной температуре.

Рис. 1 Расположение гидрометрических и гидрогеохимических створов

Подземные льды слабоминерализованные гидрокарбонатные преимущественно магниевые, слабокислые, с низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала и высоким содержанием NO_3^- , NH_4^- и Fe. Существенное влияние на химический состав льдов: повышение роли соединений азота и Mn, заметный сдвиг окислительно-восстановительного потенциала в сторону восстановительных значений, оказывают процессы криогенеза.

Солевой состав поверхностных вод формируется путем выщелачивания горных пород и подземного стока, поскольку минерализация атмосферных осадков очень мала. По химическому составу атмосферные осадки гидрокарбонатные преимущественно натриевые, слабокислые, ультрапресные (6-11 мг/л).

$$HCO_3^-\ 74\ SO_4^{2-}\ 17\ Cl^-\ 8$$

Снег (Андрюшкино) М 0,007 ---------- pH 5,06 Eh 501

$$Na^+\ 85\ Ca^{2+}\ 17\ Mg^{2+}\ 10\ K\ 5$$

Химический состав воды р. Алазеи и крупных притоков – рек Рассоха и Буор-Юрях практически идентичен: это маломинерализованные гидрокарбонатные кальциево-магниевые воды со слабокислыми значениями pH и относительно высокими концентрациями NO_3^-, NH_4^- и Fe. Величина общей минерализации минимальна в период весеннего половодья – 25-48 мг/л и возрастает до 50-118 мг/л в зимнюю межень. Мутность Алазеи достаточно большая для равнинной северной реки – среднегодовая величина – 60 г/м^3, а наибольшая – 220 г/м^3.

В летнюю межень на всем протяжении исследованной части реки (1280 км) вода остается маломинерализованной (23-38 мг/л) гидрокарбонатной магниево-кальциевой, слабокислой, очень мягкой (0,4-0,7 мг-экв), с большими значениями окислительно-восстановительного потенциала (в среднем 519 мВ) и высоким содержанием F, Fe, Cu и Mn.

Ионный состав воды характеризуется резко выраженным преобладанием HCO_3^-, содержание которого колеблется в пределах 26,6-42,1 мг/л. На втором месте среди анионов $–SO_4^{2-}$, с концентрацией от 0,8 до 4,9 мг/л. Относительное содержание Cl^- весьма незначительно и не превышает 6 %-экв. (0,7-1,6 мг/л). В составе катионов преобладают ионы Ca^{2+} (3,0-6,7 мг/л) и Mg^{2+} (2,2 - 4,1 мг/л). Содержание Na^+ и K^+на всем протяжении реки примерно равны: Na^+ - 0,35 - 1,0 мг/л, K^+ - 0,2 - 1,1 мг/л и возрастают для Na^+ до 1,25 - 1,6 мг/л и K^+ до 1,2 мг/л в устьевой части реки, в зоне влияния Восточно-Сибирского моря. Среди соединений азота преобладают нитратные ионы – 0,17 - 2,41 мг/л. Концентрация аммонийных и нитритных соединений азота незначительна: NH_4^+ - 0,1-0,2 мг/л, NO_2^- - менее 0,005 мг/л.

По уменьшению среднего содержания в речных водах микроэлементы группируются в следующий ряд: F> Sr, Fe> PO_4> Cu> Mn> Ni> Pb> (*Zn, Co, Cr, Cd*).

Несмотря на относительное постоянство химического состава воды р. Алазеи наблюдаются определенные изменения в поведении ряда компонентов. От верхнего течения реки к её устью фиксируется повышение минерализации воды: с 22-25 мг/л (Порог) до 35-38 мг/л в устьевой части - Логашкина протока за счет повышения концентрации большинства макрокомпонентов. Также от верхнего течения реки к её устью наблюдается постепенное повышение содержания в воде Fe (от 0,2 до 1,0 мг/л), Pb (от 1 до 2 мкг/л), Ni (от 1,5 до 2,5 мкг/л) и Mn (от 4 до 10 мкг/л); незначительное возрастание величины pH. В этом же направлении происходит устойчивое понижение величины Eh воды с 541 мВ (Порог) до 528 мВ (Логашкина протока, мелководный бар), обусловленное обилием органического вещества, процессами оглеения почв и застойным режимом аккумулятивных ландшафтов, обеспечивающих восстановительную среду.

В среднем течении р. Алазеи на протяжении около 450 км, сформировалась слабая гидрогеохимическая аномалия Cu, Ni и Pb. Источник аномалии - сток р. Буор-Юрях, дренирующей верхнепалеозойские терригенные и карбонатные отложения и позднеюрские субвулканические породы в восточной части Алазейского плоскогорья, где известны обширные геохимические аномалии – Sn, Hg и полиметаллов. В устьевой части реки Буор-Юрях вода содержит максимальные для района концентрации Cu – 14,9 мкг/л.

Основной источник растворенных веществ в верхнем течении реки девон-карбоновые карбонатные породы и верхнемеловые липарты и дациты Алазейского плоскогорья, в

среднем и нижнем течении – верхнечетвертичные и современные отложения (пески, галечники, супеси, суглинки, торф, подземные льды).

Модуль ионного стока Алазеи понижается с 8,5-9,0 в верхнем течении реки, до 6,81т/км^2·год в устьевой части, после протекания по тундре Колымской низменности.

Небольшая величина модуля ионного стока реки Алазеи характерна для равнинных рек субарктической зоны, зоны очень слабой химической денудации. Минимальные значения стока растворенных веществ обусловлены положением бассейн реки Алазеи в холодной и влажной тундре, климатическими и ландшафтными параметрами арктического района, влияющими на интенсивность протекания химических процессов растворения и выщелачивания горных пород. Основная масса в составе растворимых продуктов стока, около 2/5, приходится на бикарбонаты кальция. Среди катионов главная роль принадлежит кальцию и магнию. По соотношению относительной величины ионного стока компоненты группируются в следующий ряд (%):

Ca, C (42-41) > Cl (6) > S, Mg (4-3) > N (2) > Na, K (0,8) > F (0,3) > Sr, Fe (0,15).

Модули ионного стока сульфатов и хлоридов, характеризующие интенсивность химической денудации на водосборе Алазеи, минимальны из-за климатических (продолжительность холодного времени года и умеренное количество осадков), геологических (распространение преимущественно четвертичных отложений) и ландшафтных особенностей (тундра и многолетнемерзлые породы).

Табл. 1 Ионный сток в Восточно-Сибирское море

Компоненты	Ионный сток, т/год			Модуль стока, т/год км^2			Вклад Алазеи в ионный сток, %
	Алазея	Индигирка	Колыма	Алазея	Индигирка	Колыма	
Ионный сток	509 000	3 161 000	3 100 000	6,81	10,6	5,7	8,0
HCO_3^-	375 000	2 140 000	1 736 000	5,29	5,9	2,7	8,8
Cl	12 100	102 000	155 000	0,16	0,28	0,24	4,5
SO_4^{2-}	21 400	306 000	434 000	0,29	0,85	0,29	2,8
Ca	85 100	612 000	326 000	1,14	1,7	0,5	8,3
Mg	6 800	136 000	124 000	0,58	0,38	0,19	2,5
Na	1 800	102 000	155 000	0,25	0,28	0,24	1,3
K	1 600			0,022			
ΣN	4 500	5 900	7 800	0,061	0,017	0,012	22,3
NH_4	1,26	6 700	8 300	0,00002	0,019	0,013	0,01
NO_3	6 900	3 000	6 100	0,093	0,008	0,010	43,4
PO_4	253	490	1 250	0,0034	0,0014	0,002	13
F	599	7 100	6 200	0,008	0,0221	0,0098	4,3
Fe	288	-	-	0,004	-	-	-
Sr	300	-	-	0,004	-	-	-
Cu	72,4	260	200	$0,97\cdot10^{-3}$	$0,81\cdot10^{-3}$	$0,32\cdot10^{-3}$	2,9
Mn	14,4	1200	980	$0,19\cdot10^{-3}$	$3,73\cdot10^{-3}$	$1,54\cdot10^{-3}$	0,66
Pb	9,4	-	-	$0,13\cdot10^{-3}$	-	-	-
Ni	21,2	93	110	$0,28\cdot10^{-3}$	$0,29\cdot10^{-3}$	$0,17\cdot10^{-3}$	9,5
Источник	Автор	Гордеев и др., 1999; Гидрохимический атлас, 1990		Автор	Гидрохимический атлас, 1990		Автор

Ионный сток Алазеи в Восточно-Сибирское море составляет около 8% от общего речного стока Индигирки и Колымы (без учета стока рек Хрома и Бол. Чукочья по которым нет данных). Примерно такая же величина привноса фосфатов, гидрокарбонатов, кальция и никеля. Наиболее ощутимо поступление со стоком Алазеи нитратов (таблица).

Выводы

Впервые получены количественные характеристики геохимического речного стока (стока растворенных веществ) Алазеи на гидрометрических и гидрогеохимических створах, наиболее удаленный из которых находится на расстоянии 1280 км от устья. На всем протяжении реки вода в летнюю межень остается маломинерализованной (23-38 мг/л) гидрокарбонатной магниево-кальциевой, слабокислой, очень мягкой (0,4-0,7 мг-экв), с преобладанием в составе микроэлементов F, Sr и Fe.

Установлен модуль ионного стока Алазеи - 6,81 т/км^2·год, небольшая величина которого характерна для равнинных рек субарктической зоны. Основная масса стока около 2/5 приходится на бикарбонаты кальция.

Дана оценка ионного стока арктической реки Алазеи в Восточно-Сибирское море Северного Ледовитого океана. Показано, что ионный сток Алазеи составляет около 8% от общего стока Индигирки и Колымы, крупных рек впадающих в Восточно-Сибирское море. Примерно такая же относительная величина привноса фосфатов, гидрокарбонатов, кальция и никеля. Положение бассейна Алазеи в холодной и влажной тундре определяет значительное поступление со стоком нитратов.

Список литературы

Гидрохимический атлас СССР. М.: Гидрометеоиздат, 1990. 110 с.

Гордеев В.В., Джамалов Р.Г., Зекцер И.С., Жулидов В.В, Брызгало В.А. Оценка выноса биогенных элементов с речным и подземным стоком в окраинные моря Российской Арктики // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 2, С. 206 – 211.

ГОСТ 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб». М. 50 с.

Лено-Индигирский район // Ресурсы поверхностных вод СССР / М. С. Протасьева. — Гидрометеоиздат, 1972. — Т. 17. — 651 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.6, ч.1. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 384 с.

Makarov V.N., Nogovitsyn D.D., Kilmyaminov V.V., Sheina Z.M.. Hydrology and Hydrochemistry of the Alazeya River // American Scientific Journal – 2016. – № 2(2) – с.33-40.

Ion runoff of the arctic river Alazeya

Makarov V.N.

Institute of Permafrost SB RAS, Yakutsk

vnmakarov@mpi.ysn.ru

Abstract: This study examines the quantitative characteristics of geochemical discharge in the Alazeya River which can be useful in assessing input of dissolved matter to the East Siberian Sea of the Arctic Ocean. The Alazeya River basin is situated beyond the Arctic Circle in north-eastern Yakutia, within the Alazeya-Kolyma thaw-lake tundra province underlain by continuous permafrost. The river basin has experienced little anthropogenic loading. The Alazeya River water chemistry is influenced by permafrost and extensive wetland development in the watershed. Precipitation and ground ice in the active layer and permafrost are the main sources of surface water. Water type in the Alazeya River is calcium bicarbonate and remains essentially unchanged over different hydrologic periods. Lowland rivers in the Arctic regions are characterized by ion discharge as low as 6.8 t/km^2. The low discharge levels are determined by the Arctic climatic and landscape parameters which affect the intensity of chemical weathering of rocks.

Keywords: Arctic, ion discharge, unit discharge, anions, cations, microelements

О хаосе и порядке в криогенных явлениях и процессах, формирующих речной сток

Марков М. Л.
Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург
2019mml@gmail.com

Аннотация: Представлена эволюция устойчивых и неустойчивых структур в системе водный поток-лед-русловые отложения во времени (в годовом и многолетнем циклах) по мере понижения температуры воздуха. С эволюцией структур потока связана проблема в определении соотношения роли в них случайности и детерминизма. Смена структур определяет и изменчивость водного режима рек в зимний период.

Ключевые слова: речной лед, наледи, сезонные подземные льды, эволюция сезонного оледенения, зимний сток рек

Среди особенностей гидрологического режима северных рек наиболее важная гидрологическая роль принадлежит криогенным процессам и явлениям, обусловленным сезонными фазовыми переходами воды с образованием льда разных типов, в совокупности составляющих сезонное оледенение (СО): речного, наледного, подземного. Эти временные аккумуляторы природных вод в различных формах не только перераспределяют существенную часть речного и подземного стока в течение года (реже год от года), но и оказывают заметное влияние на гидрологический режим рек, что необходимо учитывать в инженерно-гидрологических расчетах и прогнозах.

Вся совокупность подходов к изучению природных льдов и их гидрологической роли укладываются в три взаимно связанных направления. Во-первых, это физические исследования процессов формирования льда разных типов под влиянием внешних и внутренних факторов. Во-вторых, феноменологические исследования, ориентированные на получение обобщенных научных представлений о пространственно-временных закономерностях формирования отдельных составляющих сезонного СО. И, в-третьих, эволюционные исследования СО, как единой совокупности её элементов-определенных форм организации вещества и энергии геологической криогенной системы вообще и речных систем в частности, во взаимосвязи этих элементов, переходе одних в другие во времени и в пространственных координатах. До последнего времени исследования в этом направлении сводились к попытке выявить лишь парные взаимосвязи: ледники-наледи; ледники-снежники-наледи; речной лед-речные наледи; наледи подземных вод-сезонные подземные льды и т.д. Такой уровень исследований представляется частным. Только выяснив место каждой из составляющих СО в эволюционном пространственно-временном ряду преобразований форм организации потоков вещества и энергии в речных системах северных районов, с одной стороны, и её становления как совокупности более низких структурных форм, с другой стороны, можно приблизиться к созданию основ теоретического знания о рассматриваемых криогенных водных объектах со всеми вытекающими научными, методологическими и практическими выводами.

Основная цель статьи состоит в рассмотрении на качественном уровне формирования СО, как неразрывной совокупности составляющих его специфических криогенных водных объектов, установлении основных черт их динамики и эволюции, оценке влияния на речной сток.

В последние сорок лет в естествознании с нарастающей интенсивностью развивается идея о самоорганизации и саморегулировании природных и социальных объектов и систем (синергетика). Экспериментально и теоретически установлено, что при

определенном изменении внешнего воздействия открытые системы переходят в неустойчивое состояние (**хаос**) по отношению к малым возмущениям. В одном случае неустойчивость приводит к образованию некоторых новых устойчивых структур (**порядок**), в другом-к их разрушению. Эти закономерности прослеживаются и в эволюции СО.

Под действием силы тяжести, солнечной и планетарной энергии через речные системы непрерывно проходит вода и энергия определенной, изменяющейся структуры. Можно выделит условно две структуры. Первая отражает совокупность устойчивых внутренних и внешних взаимосвязей элементов речной системы (РС) и представляет собой линейную древовидную систему с односторонним потоком вещества (жидки сток; речной и подрусловой вместе с растворенными и коллоидными веществами; сток наносов) и энергии (тепловой сток), обладающей конечным множеством входов и одним выходом (СРС). Вторая структура отражает внутренние устойчивые связи, отношения между элементами самого потока (СП). Внутригодовая цикличность солнечной энергии приводит к изменению структур речных систем и потока, особенно выраженному в северных районах и криолитозоны.

В холодный период года лед разных типов становится ограничивающим фактором для потока вещества и энергии. При увеличении его влияния закономерно изменяется во времени характер взаимодействия между жидким, твердым и тепловым стоком. В процессе самоорганизации и пространственно-временной смены локальных СП создаются новые структуры, которые обеспечивают равновесие между притоком тепла и энергии к РС и его оттоком. На рис.1 представлена эволюция устойчивых и неустойчивых СП во времени (в годовом и многолетнем циклах) по мере понижения температуры воздуха в зимний период.

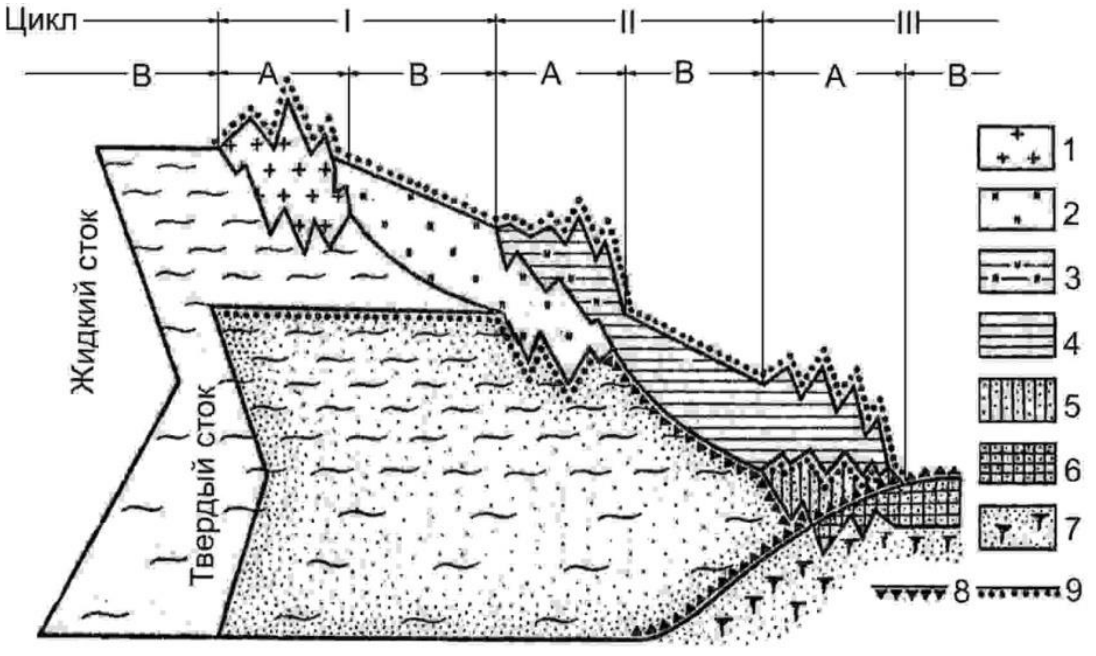


Рис 1. Циклы эволюции форм организации жидкого стока через речную систему при возрастании отрицательного температурного поля. Структуры: А-неустойчивая, В-устойчивая; ледяные образования:1-внутриводный лед, 2-ледяной покров (речной лед), 3-речная наледь, 4-наледь подземных вод, 5-сезонный подземный лед, 6 -многолетний подземный лед; ведущие преобразования потока вещества: 8-многолетние. 9-сезонные.

В период открытого русла для большинства рек характерно динамическое равновесие (устойчивая структура) между водным потоком, стоком наносов и формами русловых

отложений за счет саморегулирования (Кондратьев Н.Е. и др.,1982). В начале зимы при понижении температуры воды в определенный момент времени образуется внутриводный лед. В водном потоке возникает дополнительное сопротивление движению воды за счет неоднородности его плотности и увеличения смоченного периметра. Процессам охлаждения воды начинают противостоять процессы выделения теплоты кристаллизации, которые замедляют охлаждение системы при ледообразовании. С добавлением нового элемента (шуги) система начинает переходить из устойчивого состояния в неустойчивое, становясь чрезвычайно чувствительной к малым изменениям внешних воздействий. Незначительные флуктуации погоды или гидродинамики потока на локальных участках (расширение, сужение русла и др.) могут вызвать значительные изменения плотности ледового материала, частным следствием чего являются зажоры. В данном случае масштаб изменений состояния системы совершенно несоизмерим с внешним импульсом, а причинно-следственные связи процессов имеют случайный характер. Это осложняет разработку методов расчета и прогнозов зажоров на детерминированной основе.

После накопления определенного объема ледяного материала формируется ледяной покров. **Хаотическое** образование кристаллов льда во всем объеме потока принимает упорядоченный характер на нижней поверхности ледяного покрова. Увеличивается пропускная способность русла. Поток переходит в динамическое равновесие, устойчивое состояние. Оно достигается тем, что всякое изменение внешнего воздействия компенсируется изменением толщины льда или изгибом ледяного покрова, деформацией русла. Система становится менее чувствительной к изменению внешних условий. Причинно-следственные связи процессов принимают детерминированный характер, вследствие чего достаточно точно рассчитываются не только толщина льда по конечному числу определяющих факторов (Донченко Р.В.,1987), но и характеристики зимнего стока.

С дальнейшим снижением температуры воздуха увеличивается толщина льда и может происходить деформация ледяного покрова за счет возникновения напора при стеснении им живого сечения водного потока. Неоднородность морфометрии русла и гидродинамики потока по длине приводит к чередованию зон положительных и отрицательных деформаций речного льда. С определенного момента увеличение толщины льда может привести к такому уменьшению пропускной способности русла, при котором напор воды разрушает ледяной покров. Вода выходит на поверхность и начинается наледный процесс. Он обеспечивает более интенсивное рассеивание энергии через конвективный теплообмен по сравнению с кондуктивным при ледоставе. Наледи речных вод заполняют преимущественно пониженные участки ледяного покрова, увеличивают его вес, и, следовательно, прогиб вниз. На повышенных участках ледяного покрова толщина растет с меньшей интенсивностью. Поэтому здесь продолжается прогиб вверх под действием добавочного напора, что приводит к новому нарушению монолитности ледяного покрова и формированию наледей. Таким образом, рассеивание части энергии водного потока механическим путем, началом чего является разрушение ледяного покрова, приводит к нарушению симметрии количественных и качественных преобразований в саморегулирующейся системе ледяной покров-водный поток-русловые отложения. Зарождение новой структуры в потоке вновь приводит его в неравновесное состояние. Он становится «чувствительным» к влиянию множества факторов. Причинно-следственные связи процессов принимают случайный характер. Именно поэтому до сих пор не увенчались успехом попытки разработать методы расчета толщины льда на детерминированной основе для этой структуры, о чем свидетельствуют результаты анализа расчетных методов (Чижов А.Н.,1990). Известны также сложности расчета характеристик зимнего стока наледных рек.

Обратная положительная связь в речном потоке и тесно связанным с ним подрусловым потоках приводит к переформированию не только их гидродинамики и термики, но и рельефа речной долины. При низкой температуре воздуха наледеобразующие воды замерзают в непосредственной близости от очагов разгрузки подземных вод и формируют каждый год в одних и тех же местах наледные массивы значительной толщины. В теплый период года они нарушают динамическое равновесие между вертикальной и боковой эрозией рыхлых отложений на участке, здесь преобладает последняя. Этому способствуют и экзогенные процессы, активность которых повышается на наледных участках. В результате формируются наледные поляны. Уклон рек здесь может быть на порядок меньше уклона на смежных безналедных участках рек (Марков М.Л., Беренсен А.К.,1988). Речной сток ниже наледных участков как правило отсутствует, водотоки пересыхают, а русловые отложения перемерзают.

Таким образом, нарушение симметрии преобразований процессов в РС приводит к необратимости наледеобразования, возникновению устойчивой структуры в системе наледи подземных вод -— водный поток — русловые отложения — наледный аллювий. Устойчивость структуры находит отражение, во-первых, в зимнем режиме наледей, который мало зависит от флуктуации погоды и устойчив в многолетнем разрезе; во-вторых, в ограничении возможных вариаций морфологических форм наледных полян, что позволяет выявить зависимости между их площадью и объемом (Практические рекомендации .1986).

Несмотря на устойчивость связей и взаимодействия между элементами РС существует предпосылка к дальнейшему развитию, эволюции системы в геологическом масштабе времени. Симметричные преобразования структуры в целом протекают на фоне вековых необратимых, асимметричных геоморфологических и геологических процессов. На определенном этапе развития эти взаимно противоположные процессы приходят в противоречие, которое разрешается в сторону более общего необратимого процесса.

Вследствие большой ширины, малых уклонов на наледных полянах уменьшается транспортирующая способность речного потока. В период прохождения половодья и паводков на них аккумулируются наносы даже очень мелких фракций, отметки поверхности наледной поляны понижаются значительно медленнее, чем на смежных участках реки. С постепенным уменьшением боковой эрозии увеличивается вертикальная. Происходит перерасчленение речной долины. Его следствием является увеличение живого сечения рыхлых отложений на наледной поляне. Это приводит к уменьшению степени развития наледи. Часть воды расходуется на образование сезонных подземных льдов, бугров пучения и аккумуляцию в рыхлых отложениях речных долин. Вследствие уменьшения толщины льда улучшаются условия жизнедеятельности растений, происходит смена примитивных растительных группировок более высокоорганизованными ассоциациями. Растительность укрепляет грунты и увеличивает гидравлическую шероховатость, что способствует уменьшению размываемости почвогрунтов и увеличению аккумуляции наносов в период прохождения паводков и половодий. Система вновь выходит из устойчивого состояния. Сезонные подземные льды и наледи на этой стадии эволюции характеризуются чрезвычайно большой пространственно-временной изменчивостью. В дальнейшем даже в стационарном климатическом режиме может произойти или смешение наледеобразующих источников вверх по течению, или подземные воды будут фильтроваться в аллювиальных толщах по грунтовофильтрационным таликам в безналедном режиме. При малой пропускной способности таликов воды могут скапливаться в сезонноталом слое днища долин. Возникновение спорадических мерзлотных водоупоров приводит к аккумуляции подземных вод в аллювиальных отложениях речных долин в течение длительного периода, что является одной из главных причин, обуславливающих большие коэффициенты стока (нередко больше единицы) в начале теплого периода года (5).

В достаточной мере еще не изучена эволюция наледей и подземных льдов наледных полян в геологическом масштабе времени. На основе рассматриваемого подхода и имеющихся данных можно предположить различные пути их дальнейшего развития. Первый заключается в обратимости процесса при стационарной климатической ситуации. На участке вновь начинает формироваться наледь, постепенно распространяясь на все большую площадь и способствуя тем самым боковой эрозии. Бугры пучения, сезонные подземные льды "вытесняются" на периферию наледного участка. При похолодании климата активность формирования сезонных подземных льдов за счет увеличения мощности наносов на наледной поляне приведет к образованию многолетних подземных льдов вследствие, во-первых, уменьшения отепляющего воздействия водного потока в русле при уменьшении его смоченного периметра за счет глубинной эрозии и, во-вторых, уменьшения теплопроводности покровных отложений при увеличении их мощности и образовании почвеннорастительного слоя. Формирование многолетних подземных льдов уменьшит интенсивность водообмена на участке, конвективный перенос тепла подземными водами, нарушит динамическое равновесие между количеством тепла, поступившего в талик и расходуемого на нагрев окружающих талик мерзлых пород. Размеры талика будут сокращаться вплоть до полного промерзания водовмешающих пород. На смену наледям и сезонным подземным льдам придет более устойчивая форма организации в изменившихся природных условиях: многолетние подземные льды - многолетнемерзлые породы.

Таким образом, при изменении внешней нагрузки (отрицательного температурного поля) в эволюции элементов потока наблюдается чередование устойчивых и неустойчивых структур. Характер изменения свойств элементов при изменении структурных связей является общим для разных выделенных циклов, создавая условия для устойчивости и изменчивости эволюционного процесса. В этом проявляется фундаментальный принцип симметрии, который в конечном счете может быть основой для научного предсказания поведения системы.

Вместе с тем, внутри каждого цикла процесс необратим. Он самопроизвольно протекает только в определенном направлении. Необратимость является исходным пунктом для эволюции, то есть нарушения временной симметрии. Временной масштаб эволюции структур изменяется от цикла к циклу. Если первый цикл отражает процесс в масштабе зимнего сезона, то второй и особенно третий - в вековом. В эволюции двух последних циклов изменение временного масштаба обусловлено повышением роли процессов, связанных с многолетними морфологическими преобразованиями речных долин при активном участии СО. Последний вывод необходимо учитывать при оценке последствий антропогенного воздействия на морфологию и ледотермически режим рек криолитозоны, в том числе прогнозируемого изменения климата.

В целом рассмотренные эволюционные процессы развиваются по принципу минимума диссипации (рассеивания) энергии. Суть его: если допустимо не единственное состояние системы, а целая совокупность состояний, согласных с законами сохранения и принципами, а также связями, наложенными на систему, то реализуется то состояние, которому соответствует минимальное рассеивание энергии, или, что-то же самое, минимальный рост энтропии (**мера хаоса**). В нашем случае при взаимодействии «холода» и водного потока создаются структуры (**порядок**), которые являются в совокупности своеобразным криогенным барражом, препятствующим быстрой сработке подземных и речных вод (в том числе тепловой энергии территории) при длительном отсутствии атмосферного питания. «Холод» удерживает «тепло».

Список литературы

Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса/-Л.: Гидрометеоиздат, 1982, —272с.

Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР/ -Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 242с.

Чижов А.Н. Формирование ледяного покрова и пространственное распределение его толщины / - Л.: Гидрометеоиздат, 1990. - 127 с.

Марков М.Л., Беренсен А.К. О формировании наледных полян и их влиянии на гидрологический режим рек // Вопросы гидрологии суши: Докл. конф. молодых ученых и специалистов. -Л.: Гидрометеоиздат, 1988. с.46-52.

Практические рекомендации по расчетам гидрологических характеристик в зоне хозяйственного освоения БАМ. /-Л.: Гидрометеоиздат, 1986.- 110 с.

About chaos and order in cryogenic phenomena and processes forming the river runoff

Markov M.L.
State Hydrological Institute, St. Petersburg
2019mml@gmail.com

Abstract: The evolution of stable and unstable structures in the system of water flow-ice-channel sediments in time (in annual and long-term cycles) as the air temperature decreases is presented. The problem in determining the correlation between the role of chance and determinism in flow structures is related to the evolution. The change of structures determines the variability of the water regime of rivers in winter.

Keywords: river ice, ice, seasonal, permanent ice, seasonal evolution of glaciation, the winter river flow

Лабораторное моделирование деструктивных склоновых процессов, протекающих в криолитозоне

***Масликова О.Я.*[1], Долгополова Е.Н.[1], Грицук И.И.[1,2], Ионов Д.Н.[1]**
[1]*Институт водных проблем РАН, Москва*
[2]*Российский Университет дружбы народов, Москва*
oksana68@mail.ru

Аннотация: Лабораторией динамики русловых потоков и ледотермики ИВП РАН были проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния внешних факторов и сезонных условий на процесс оттаивания и разрушения мерзлых пород в условиях криолитозоны. Выполненные исследования позволили предложить модель трансформации берегов водных объектов, расположенных в зоне многолетнемерзлых пород. Эта модель включает гидродинамический блок, термическую и радиационную (солнечную) составляющие, а также гидрогеологический блок, включающий инфильтрационные характеристики грунта и обеспеченность поступления осадков в водный объект.

Ключевые слова: лабораторный эксперимент, мерзлый грунт, протаивание, эрозия почв, водные поток

Введение

Проблемы хозяйственного освоения земель в зоне многолетнемерзлых пород требуют особенно тщательного изучения свойств грунтов при их оттаивании и замерзании. Поскольку мерзлота является причиной как чрезвычайной стабильности русловых потоков вследствие своих сковывающих и цементирующих свойств, так и причиной определенной нестабильности в условиях криолитозоны, всё это приводит к тому, что огромное количество исследований, проводящихся в разное время, дают спектр противоречивых результатов. Вполне вероятно, что комбинации различных факторов могут приводить к различным соотношениям скоростей сезонного протаивания грунта и эрозии, что требует особой тщательности и осторожности, особенно при инженерном проектировании. С большой долей вероятности возможно допустить, что влияние на размыв берегов водных объектов внешних температурных условий является более стабилизирующим фактором в зоне мерзлоты, чем в районах, не принадлежащих криолитозоне. Так как не всегда представляется возможным провести натурные наблюдения, а уж тем более сравнивать абсолютные скорости боковой эрозии различных мерзлых русел нерегулируемых потоков, поэтому единственно возможным полным исследованием процессов, протекающих в мерзлых грунтах при оттаивании, являются лабораторные эксперименты.

Преимущество лабораторного эксперимента перед натурными наблюдениями (кроме финансовой составляющей) заключается в возможности исследования влияния одного параметра на модель склона при неизменных остальных параметрах, а также в том, что мы можем приостановить эксперимент, изъять часть объекта, и зарегистрировать изменения происшедшие в модели, чего категорически невозможно сделать при натурных исследованиях.

Основные результаты:

1. Получена система уравнений, описывающая движение породы по склонам в условиях криолитозоны с учетом интенсивности дождя в условиях изменяющейся во времени льдистости грунта.

Если интенсивность атмосферных осадков, каковыми являются сезонные дожди или тающий снег (а зачастую и то, и другое), не превышает скорость инфильтрации, то вся влага уходит на пропитывание грунта, и никакого поверхностного размыва не происходит.

Если интенсивность таяния превышает скорость инфильтрации, то излишки талой воды уходят в сток. На самой вершине склоновый расход равен разности интенсивности дождя и инфильтрации: $q_{скл}=q_m-q_{инф}$. Но на каждом участке склона своя вертикаль атсмосферных вод, поэтому вниз по склону эти потоки объединяются с верхними, и в каждой точке склона расход будет равен

$$q_{скл}=(q_m-q_{инф})*l \quad (1)$$

где l – расстояние от вершины склона до рассматриваемой точки. Склоновый сток, таким образом, будет линейно возрастать с уменьшением высоты, формула размыва будет зависеть от расстояния от вершины склона, а сам размыв иметь тенденцию к увеличению от вершины к подножию.

Если нижняя граница снежного покрова (наиболее распространенный случай) является мерзлой породой, то скорость инфильтрации рассматривается с поправкой Арманда (0,6) и начальным условием $0°C$ на нижней границе. В каждой точке склона расход будет равен

$$(q_m-0,6*q_{инф})*l \quad (2)$$

Область применимости коэффициента 0,6 будет продвигаться вглубь грунта по мере оттаивания, изменяясь в каждой конкретной точке от 0,6 до 1 (Арманд, 1983). Таким образом, определяется результирующий склоновый поток для уравнения (2).

2. Изучено влияние радиационной составляющей на процесс снеготаяния как одного из факторов деградации мерзлых пород; исследовано изменение альбедо под влиянием УК и ИФ-волн;

Талые потоки, рассчитанные по закону Бугера-Ламберта на всех слоях, суммируются с приходящими с верхних горизонтов. В итоге подстилающей поверхности достигает сумма этих потоков, вычисляемая суммированием полученной в (Масликова, 2016) формулы по координате z (от $–z$ до 0). Рассматривая интегральную сумму по толщине снежного покрова и учитывая изменение альбедо, получаем:

$$M = \frac{I}{L_i \cdot \left(1 - e^{-\beta z}\right) \cdot \left(1 - A(t)\right)}, \quad (3)$$

где L_i=334 Дж/кг – удельная теплота таяния (замерзания); $I(z)$ – интенсивность радиации на глубине z м от поверхности снега, β – коэффициент экстинкции (ослабления, м$^{-1}$); A – альбедо снега; t – текущее время.

Формула описывает характер снеготаяния по времени в зависимости от интенсивности падающей солнечной радиации, толщины изначального снежного покрова и коэффициента экстинкции β β . Все параметры у нас – постоянные величины, кроме изменяющегося во времени альбедо. Из формулы видно, что при отсутствии снежного покрова (толщина z=0) никакого таяния происходить не будет.

Из уравнения (3), зная входящие параметры и интерполируя полученные в процессе эксперимента графики объема таяния под действием радиационной составляющей, можно получить график зависимости альбедо от времени при воздействии лучей разной природы:

$$A(t) = 1 - \frac{M_{эксп} L_i}{I \cdot \left(1 - e^{-\beta z}\right)} \quad (4)$$

$M_{эксп}$ - талые потоки, полученные экспериментально. Зависимость альбедо от времени в процессе таяния носит экспоненциальный характер, что хорошо согласуется с данными, приведенными в (Калюжный, Шутов, 1998)

3. Экспериментально подтверждена полученная ранее в теоретическом виде формула влияния скорости потока на продольный транспорт наносов и размыв берегового склона; экспериментально получена формула зависимости скорости эрозии при разных углах залегания берегового склона в условиях оттаивания породы.

Из формулы транспорта наносов (Дебольский, 1993) и формулы Дарси-Вейсбаха для потока на склоне с учетом льдистости получена формула ***транспортирующей способности потока на склоне*:**

$$S = \frac{6*10^{-9}}{w(i^2+10^{-6})}\frac{\sqrt[3]{gq_{ск}}}{\lambda^{4/3}}tg\propto^{4/3} S = \frac{6*10^{-9}}{w(i^2+10^{-6})}\frac{\sqrt[3]{gq_{ск}}}{\lambda^{4/3}}tg\propto^{4/3} \quad (5)$$

где S – транспортирующая способность потока; $q_{ск}$ – удельный расход склонового потока; w – гидравлическая крупность незамерзшего материала, i – льдистость за счёт ледяных включений, доли. ед. λ – коэффициент сопротивления, или потери энергии на трение по длине – определяется экспериментально, α – тангенс угла наклона берега;

4. Показано, что скорость эрозии значительно отстает от скорости протаивания минимум в два раза, а протаивание замороженного естественного грунта и замороженного смоченного отличаются примерно в полтора раза.

В прямоугольном лотке циркуляционного действия были проведены экспериментальные исследования связи протаивания подводного склона и темпов береговой эрозии. Эксперименты проводились для смоченного замороженного грунта (аналог подводного склона в условиях криолитозоны) и для естественного замороженного (аналог надводного склона в тех же условиях). Были проведены замеры оттаивания и эрозии в течение времени, построены графики протаивания грунта различной заморозки и графики размыва для каждого эксперимента в зависимости от времени. Полученные графики представлены на рис. 1 а. Из них видно, что эрозия значительно отстает от скорости протаивания. При этом скорость протаивания смоченного грунта опережает аналогичную скорость естественной влажности.

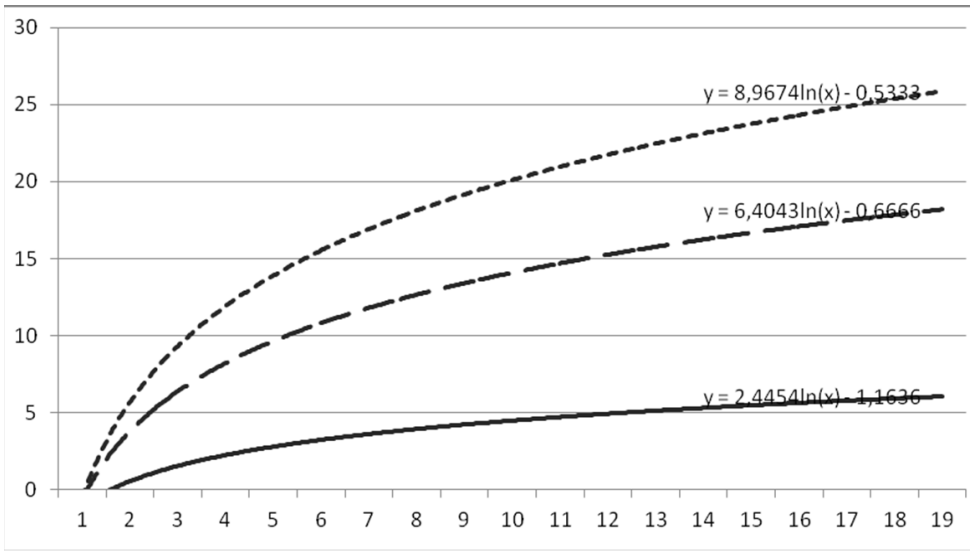
5. Как было отмечено в (Хусаинова, 2007), закон движения поверхности эрозии определяется из соотношения $\xi_1(t) = \alpha\sqrt{t}$, где a – коэффициент температуропроводности, а закон движения поверхности плавления мерзлого грунта из уравнения $\xi_2(t) = \sqrt{\beta t}$. Построим те же графики от $\sqrt{t}$ (час)$\sqrt{t}$ (час), получаем рис. 1 ***б***. Как видно из графиков, кривые теперь интерполируются линейной зависимостью. Коэффициент этой линейной зависимости для графика эрозии (нижняя прямая) – это и есть коэффициент температуропроводности (в нашем случае – примерно 0,56, что соответствует пескам с суммарной влажностью 0,1).

Свободный член 0,66 нам дает корень квадратный из времени запаздывания, т.е. времени, после которого начинается эрозия. В нашем случае это 0,662=0,44 часа, что соответствует 26 минутам. Действительно, примерно первые полчаса наблюдений размыва не происходило. Коэффициент на верхних кривых – это коэффициент $\sqrt{\beta}\sqrt{\beta}$, который нам удалось получить экспериментально.

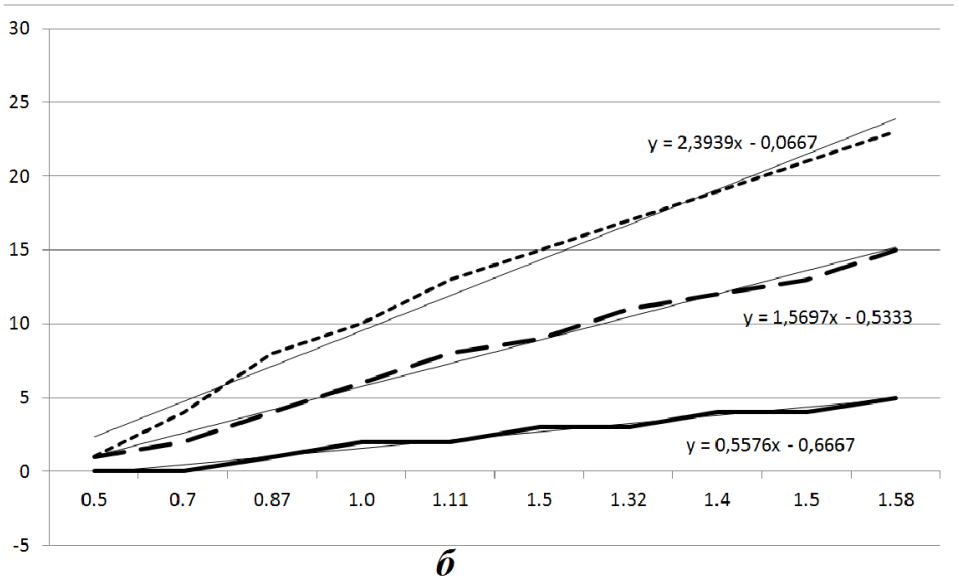
3. Сконструирована уникальная установка модели вращающейся жидкости для исследования динамики руслового потока на закруглении, проведены эксперименты.
4. В круговой центрифуге, вращающейся вокруг своей оси, были смоделированы склоны, имитирующие выпуклый и вогнутый мерзлые берега русла. Характер воздействия потока и, соответственно, размыва, на вогнутом и выпуклом участках различается.
5. На воду в закругленных потоках действует центробежная сила (на поворотах русла). Центробежная сила действует от центра по радиусу поворота.

Таким образом, основной напор приходится на внешний радиус, или на вогнутый склон. Эксперимент показал, что вогнутый склон подвергся значительному размыву в том месте, где он соприкасался с водой, т.е. практически вся оттаявшая порода вымывалась потоком. Выше уреза воды размыва породы не происходило, так как для естественного оттаивания породы под действием теплого воздуха требовалось гораздо больше времени, чем при воздействии воды. Таким образом, оттаивание породы интенсивнее происходит

под действием механической энергии, нежели тепловой. Внутренний, выпуклый склон оседал только под действием оттаивания, и механическому воздействию практически не подвергся.



а



б

Рис. 1. а – движение фронта протаивания (логарифмическая аппроксимация) – пунктирная линия – для естественного влажного грунта, точечная – для смоченного; сплошная линия – движение фронта эрозии; б – зависимость эрозии (сплошная линия) и протаивания (пунктирная линия – естественный грунт, точечная – смоченный) от $\sqrt{t}\sqrt{t}$(час)

Выводы

- Интенсивность разрушения берегов северных водоемов связана с тем, что, размыв подводного берегового склона, сложенного мерзлыми льдистыми породами, осуществляется под действием не только механической, но и тепловой энергии движущейся воды. При этом интенсивность размыва мерзлых пород зависит от температурыи льдистости пород.
- Смыв грунта с откоса берега русла изменяется во времени и по длине откоса. Объем смываемого грунта определяется интенсивностью осадков, характеристиками материала откоса, состоянием материала (льдистость), а также углом наклона откоса к

горизонту водной поверхности. В случае немерзлого грунта влияние атмосферных осадков происходит наиболее интенсивно у подножия склона, ближе к урезу воды – где наиболее мощные склоновые потоки и наибольшая длительность их воздействия.

- Эксперименты с воздействием инфракрасных (ИК) и ультрафиолетовых (УФ) ламп на снежный покров позволили выявить разницу воздействия лучей разной длины на снеготаяние и изменение альбедо при прочих равных условиях (температура окружающей среды, плотность и структура снега, толщина снежного покрова).
- Экспериментально показано, что зависимость размыва твердого вещества от угла уклона (при прочих равных) будет иметь степенной (4/3) вид. Таким образом, экспериментально подтверждена зависимость, полученная ранее в теоретическом виде.
- Протаивание и эрозия мерзлых берегов водных объектов пропорциональны квадратному корню от времени. Линейный коэффициент зависит от характера породы, льдистости, температуры окружающей среды и температуры потока.
- Зависимость отставания эрозии от протаивания связана с механическим воздействием водного потока.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 16-08-00595, № 18-05-00178.

Список литературы

Арманд Д.Л. Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов. – М.: Наука, 1983. – 238 с.

Динамика русловых потоков и литодинамика прибрежной зоны моря// под ред. Дебольского В.К,, М.:Наука, 1994. 303 с.

Калюжный И.Л., Шутов В.А., Современное состояние проблемы натурных исследований снежного покрова // Водные ресурсы. 1998. Т. 25. №1. С. 34-42

Хусаинова З.Р., Теоретическое исследование процессов термоэрозии и термокарста многолетнемерзлых пород, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Уфа – 2007

Масликова О.Я. Экспериментальное исследование интенсивности снеготаяния на лабораторной модели, Природообустройство, -2016., -№1 , с. 28-33

Laboratory modeling of destructive slope processes occurring in the permafrost zone

Maslikova O. Ya. [1], ***Dolgopolova E.N.*** [1], ***GritsukI. I.*** [1,2], ***Ionov D.N.*** [1]

[1] *Russian Academy of Sciences Water Problems Institute, Gubkina str., 3, Moscow*

[2] *Peoples' Friendship University of Russia, Ordzhonikidze str., 3, Moscow*

oksana68@mail.ru

Abstract: The Laboratory of Bed Stream Dynamics and of Ice Dynamics from the WPI of RAS conducted theoretical and experimental studies of the influence of external factors and seasonal conditions on the process of thawing and destruction of frozen ground under cryolithozone conditions. The performed studies made it possible to propose a model for the transformation of the shores of water bodies located in the permafrost zone. This model includes a hydrodynamic block, thermal and radiation (solar) components, as well as a hydrogeological unit that includes soil infiltration characteristics and the availability of precipitation to the water body.

Keywords: laboratory experience, frozen ground, thawing, soil erosion, water flow

Сток рек арктической зоны Европейской части России и его многолетняя и сезонная изменчивость

Мироненко А.А.*, *Фролова Н.Л.
Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва
nastya-mir@list.ru

Аннотация: В настоящее время арктическому региону посредством многих исследований уделяется большое внимание научного сообщества. Интерес вызывают и арктические реки. В частности, данное исследование посвящено анализу сезонной и многолетней изменчивости стока арктических рек, протекающих по Европейской территории России, что представляет его основную цель. Для достижения цели составлен алгоритм, каждый пункт которого представляет отдельную задачу. Выполнение поставленных задач позволит в полной мере изучить особенности сезонных и многолетних колебаний стока рек исследуемого региона за периоды 1946-1979 и 1980-2013 гг. и произвести сопоставление полученных результатов.

В данной работе в качестве исходной информации выступили данные о среднемесячных и среднегодовых расходах воды, максимальных и минимальных наблюденных расходах, полученных по данным 54 гидрологических постов, расположенных на 46 арктических реках Европейской части России. Эта гидрологическая информация подверглась проверке на однородность и независимость с помощью статистических критериев. Для всех изучаемых характеристик также построены разностные интегральные кривые, позволившие судить о водности исследуемых рек. По завершении статистической обработки исходных гидрологических данных произведена количественная оценка изменчивости годового и сезонного стока, включающего сток зимней и летне-осенней межени, сток весеннего половодья.

По завершении данного исследования сделан ряд выводов. Во-первых, установлено, что изменения годового стока арктических рек Европейской части России за период 1980-2013 гг. объясняется в большей степени его естественными флуктуациями. Во-вторых, на реках, условия на водосборах, которых схожи, наблюдаются подобные закономерности в смене фаз водности. В-третьих, анализ изменчивости сезонного стока показал не только смещение времени наступления зимней межени и весеннего половодья к более поздним датам, но и некоторые количественные изменения составляющих сезонного стока. Среди них – увеличение стока зимней межени за период 1980-2013 гг. в бассейне Онеги, Северной Двины, Печоры, а также на востоке и юго-востоке Кольского полуострова. Сток весеннего половодья значительно уменьшился в бассейне Печоры, однако сток летне-осенней межени здесь в последние десятилетия возрос. Уменьшение доли летне-осеннего стока в годовом произошло на реках бассейнов Онеги, Мезени и Северной Двины. Результаты, полученные в рамках данного исследования, подверглись картированию.

Ключевые слова: Европейская часть России, арктические реки, годовой и сезонный сток, статистические критерии, изменчивость речного стока, современные карты речного стока.

Введение

В современных условиях глобального потепления климата арктический регион имеет повышенное внимание со стороны ученых всего мира. Арктические реки – неотъемлемая часть бассейна Северного Ледовитого океана, обеспечивающая обмен веществом и энергией между материковой и океанической частью. Данная работа посвящена оценке и анализу изменчивости годовых и сезонных характеристик стока рек арктического

бассейна Европейской части России в условиях глобальных климатических переформирований.

Объектами исследования выступают крупнейшие реки арктической зоны Европейской части России – Онега, Мезень, Северная Двина, Печора - и их притоки. Задействованы в исследовании и реки, протекающие по территории Кольского полуострова.

Достижение цели исследования, а именно - оценки многолетней и сезонной изменчивости речного стока в арктической зоне Европейской части России, предполагало решение следующих задач:

1. Сбор информации с расположенных в арктической зоне Европейской части России гидрологических постов о количественных показателях стока за период их работы;
2. Выполнение расчета величин годового и сезонного стока для арктических рек ЕТР за периоды 1946-2013, 1946-1979 и 1980-2013 гг., анализ полученных значений и их сопоставление;
3. Проверка исходных рядов среднегодовых расходов воды посредством статистических критериев для выявления цикличности и трендов;
4. Создание современных гидрологических карт стока рек арктического бассейна Европейской части России на основе рассчитанных показателей для Атласа Арктики.

Материалы и методы

В качестве исходных материалов в данном исследовании выступили среднемесячные, среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды за период с начала работы гидрологических постов до 2013 г. Посты, рассматриваемые в работе, выбирались, исходя из соображения о том, что они должны быть расположены в пределах арктической зоны Европейской части России. В исследовании также задействовано несколько постов за пределами арктического региона для сопоставления гидрологических характеристик в разных зонах.

Оценка изменчивости стока рек арктического бассейна Европейской части России проводилась с помощью трех основных методов исследования. Среди них - статистический метод, заключающийся в проверке рядов наблюдений с помощью статистических критериев Спирмена, Фишера, Стьюдента, Андерсона, сравнительно-географический метод и метод картографического обобщения.

Результаты

В ходе работы проведена не только количественная, но и качественная оценка изменчивости речного стока в исследуемом регионе за последние десятилетия. Так, анализ хода среднемесячных расходов воды крупнейших арктических рек региона показал, что время наступления весеннего половодья осталось прежним, в то время как начало летне-осенней и зимней межени претерпело изменения в сторону более поздних дат: наиболее существенно это проявилось в бассейне Онеги**.** Однако дальнейшие расчеты сезонного стока проводились с учетом временных границ, определенных А. М. Владимировым до начала климатических изменений (Евстигнеев, 1990).

В ходе оценки количественного изменения сезонного и годового стока установлено, что реки смежных водосборов имеют схожие закономерности в их колебании. Так, например, для рек бассейна Северной Двины, Печоры, Онеги характерна тенденция увеличения зимнего стока в последние десятилетия. Доля весеннего стока в бассейне Печоры заметно уменьшилась, в то время как сток в летне-осенний период увеличился. На реках бассейна Онеги, Северной Двины и Мезени отмечена обратная тенденция изменения данной характеристики. Результатом исследования сезонного стока стала серия карт, отражающая процентное соотношение стока в весеннее половодье, летне-осеннюю и

зимнюю межень, а также произошедшие в последние десятилетия изменения величины сезонного стока. Результат исследования годового стока - современная карта модуля годового стока арктических рек Европейской части России (рис).

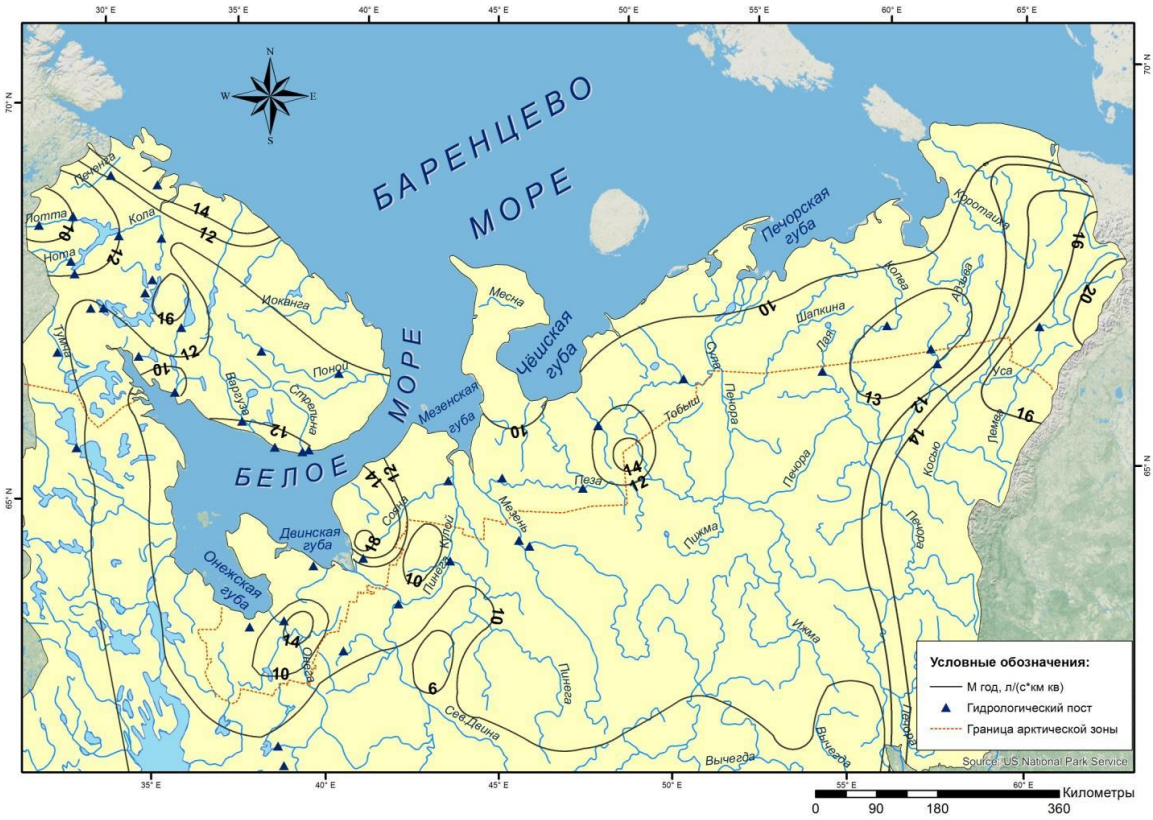


Рис. Модуль годового стока арктических рек ЕТР за период 1946-2013 гг. ($М_{год}$, л/(с·км²))

Список литературы

Евстигнеев В. М. Речной сток и гидрологические расчеты: учебник / В. М. Евстигнеев. – М.: Из во МГУ, 1990. – 304 с.

Long-term and seasonal variability of Russian Arctic`s European territory rivers runoff

Mironenko A.A. **, *Frolova N.L.***
Lomonosov Moscow State University, Moscow
nastya-mir@list.ru

Abstract: The Arctic, being almost untouched area, causes the interest of scientists and researchers working in different fields of science all over the world. The Arctic rivers are important agents involved in the formation of climatic and hydrological regime of «taking» water bodies, the Arctic seas, and as a result, are determining the hydrological characteristics of the Arctic ice. The aim of the study is to assess the role of the river flow in the Russian Arctic in the face of global environmental change and climate, and to map water flow and regime of the rivers of the Arctic zone of Russia.

The objective of the study involves the following major tasks:

1. Calculation of the annual and seasonal flow of rivers of the Russian Arctic;
2. Development of the complex hydrological maps of water flow and regime of the rivers for the Atlas of the Arctic on the basis of the data obtained;
3. Comparison of quantitative indicators of flow for different time intervals;
4. Evaluation of long-term cyclical fluctuations of river flow.

As a result, a number of conclusions were drawn. First, it is established that changes in the annual runoff of the Arctic rivers of Russian Arctic`s European territory for the period 1980-2013 is explained to a greater degree by its natural fluctuations. Secondly, on the rivers, the catchments conditions of which are similar, similar patterns are observed in the change of phases of water content. Thirdly, the analysis of seasonal runoff variability showed not only a shift in the time of the onset of winter low water and spring flood to later dates, but also some quantitative changes in the components of seasonal runoff. The results obtained in this study were subjected to mapping.

Keywords: The European territory of Russia, rivers of Arctic, water flow, rivers runoff variability, modern hydrological maps.

Математическое моделирование стока наледей и оценка их роли в формировании гидрологического режима рек Северо-Востока России

Нестерова Н.В. [1,2], ***Макарьева О.М.*** [1,2,3,4], ***Шихов А. Н.*** [5], ***Осташов А.А.*** [1]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
[2]*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург*
[3]*ООО «НПО «Гидротехпроект», Санкт-Петербург*
[4]*Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск*
[5]*Пермский государственный университет, Пермь*
nnesterova1994@gmail.com

Аннотация: Целью исследования является разработка и апробация методов математического моделирования для оценки и прогноза роли наледей в формировании гидрологического режима рек Северо-Востока России. В рамках работы были решены такие задачи как разработка алгоритма расчета наледного стока на основе метода Соколова (1975) и его интеграция в гидрологическую модель «Гидрограф»; оценка динамики образования и стаивания наледей для нескольких водосборов рек при помощи данных дистанционного зондирования (в пределах бассейна рек Яны, Индигирки и Колымы). На основе моделирования процессов формирования стока получены количественные оценки наледного стока для шести тестовых водосборов.

Ключевые слова: наледи, формирование стока, гидрологическая модель "Гидрограф", Северо-Восток

Введение

В районах Северо-Востока гидрологические процессы происходят в специфических условиях. Наледи представляют собой одну из форм оледенения Земли, стоящую на одной ступени с другими видами снежно-ледовых образований и влияющую на водообмен и хозяйственную деятельность человека (Алексеев, 1987). Зимой они уменьшают речной и подземный сток, а в теплое время года талые воды наледей являются дополнительным источником питания рек.

Широкое распространение наледи получили в районе Северо-Востока России, где обнаружено около 10 тыс. наледей, общая площадь которых составляет около 14 тыс. км^2 (Соколов, 1975). Относительная наледность для бассейнов рек Северо-Востока России в среднем колеблется от 0,4 до 1,3%, достигая 4% в бассейнах некоторых рек (Толстихин, 1974).

В большинстве случаев доля наледной составляющей годового стока рек составляет 3-7% (Reedyk et al., 1995; Kane & Slaughter, 1972; Соколов, 1975). При этом, расход воды из тающих наледей (на основании данных по Аляске и Канаде) может быть в 1,5 – 4 раза выше расхода воды подземных вод, формирующих наледи (McEven, Marsily, 1991). Наиболее существенен приток воды от таяния наледей в мае-июне (Соколов, 1975). Так для р. Индигирки – п. Юрты, где доля наледного стока составляет 11.4% от годового, сток с наледей в мае может превышать 50% общего стока, а в июне уменьшаться до 35% (Соколов, 1975).

Постоянно растущий интерес к освоению и развитию арктических областей ставит перед гидрологией ряд задач, относящихся к пониманию процессов формирования стока, в том числе в условиях изменений климата. В условиях недостаточности информации основным инструментом изучения стока в данных районах является метод математического моделирования, что обуславливает необходимость совершенствования его подходов.

Целью работы является разработка и апробация методов математического моделирования для оценки и прогноза роли наледей в формировании гидрологического

режима рек Северо-Востока России в современных условиях климата. На данный момент не существует гидрологических моделей, в явном виде учитывающих роль наледей в формировании стока рек.

Исследование динамики наледности для тестовых водосборов на основе данных дистанционного зондирования и анализ корреляции такой динамики с климатическими факторами и данными о стоке рек позволит на основе математического моделирования дать оценку и прогноз роли наледей в формировании гидрологического режима в условиях изменяющегося климата.

Объекты исследования

В качестве объектов исследования выбраны 5 рек в бассейне р.Яна (площади водосборов колеблются от 8290 км^2 до 89600 км^2), р.Сунтар- устье р.Сахарынья (7680 км^2, р. Индигирка) и р.Анмангында - Тенькинская трасса,159-й км (400 км^2) в верховье р.Колымы (Рис. 1).

Климат исследуемого района резко-континентальный. Среднемноголетняя годовая температура воздуха изменяется от -16.1˚С (Оймякон, 726 м, 1930-2012) до -13.1˚С (Восточная, 1288 м, 1942-2012). Устойчивые морозы начинаются с первой декады октября, весна наступает во второй половине мая – начале июня, когда начинается разрушение устойчивого снежного покрова. Бассейны выбранных рек расположены в зоне распространения многолетней мерзлоты. Мощность мерзлоты в исследуемых бассейнах рек может достигать более 450 м на водоразделах и до 180 м в речных долинах и в межгорных впадинах, прерываясь в трещиноватых зонах таликами.

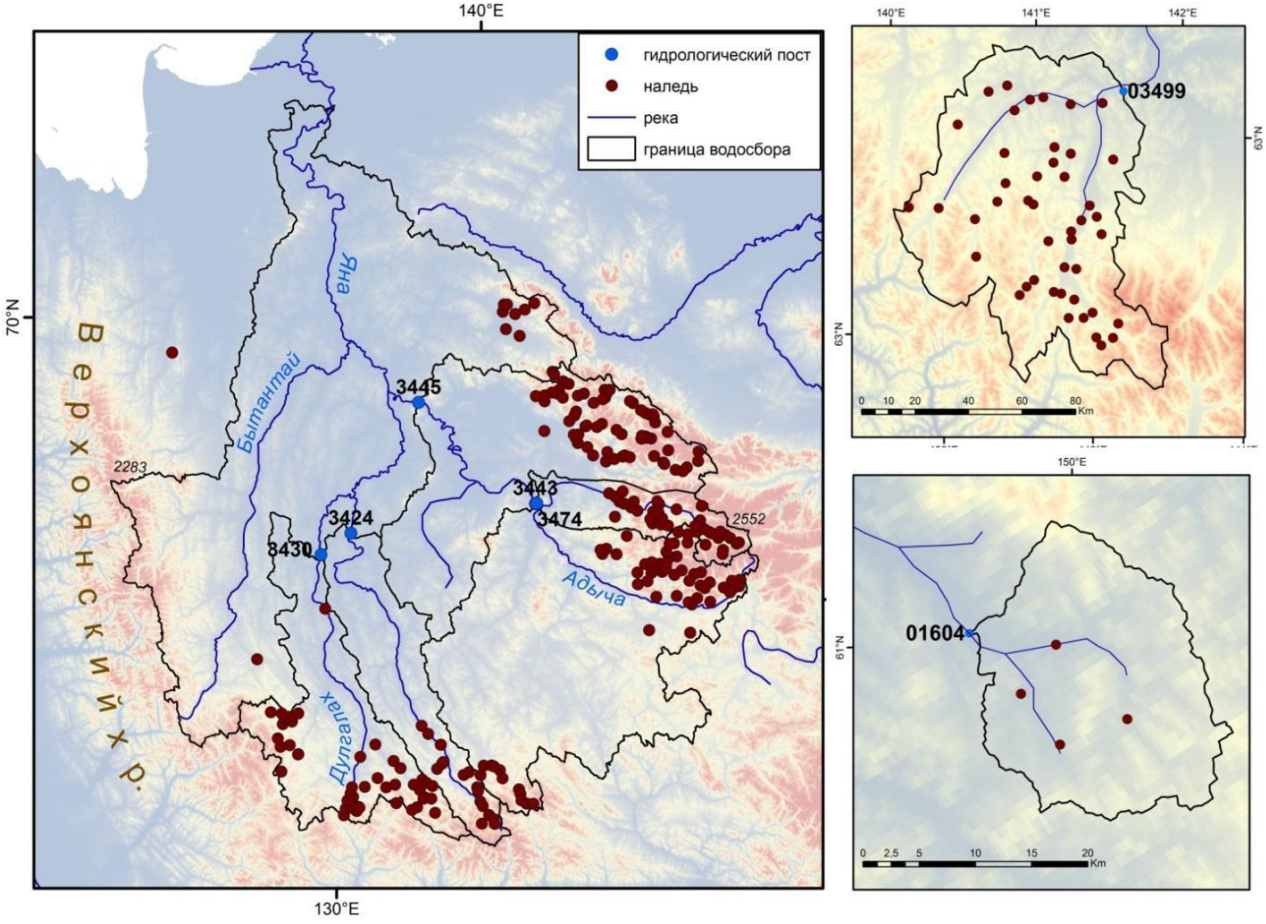


Рис. 1 Расположение наледей в бассейнах исследуемых рек

Для рек характерен восточносибирский тип водного режима с весенне-летним половодьем, высокими летне-осенними дождевыми паводками и низкой зимней меженью. В зимний период малые и средние реки перемерзают. Половодье наступает в мае-июне и длится около полутора месяцев. В летний период дождевое питание дополняется водами от таяния наледей, ледников и снежников.Наледность исследуемых водосборов колеблется от 0.17% (р.Сартанг) до 1.5% (р.Анмангында), где расположена известная Анмангындинская наледь, на которой в период с 1962 до 1977 гг. производились детальные исследования. Максимальная суммарная площадь наледей наблюдается в бассейне р.Адыча и достигает 407 км2. При получении информации о расположении и объемах наледей был использован «Кадастр наледей Северо-Востока» (1958). В 1958 г. выявление и учет наледей, а также определение их характеристик проводилось в основном путем дешифрирования аэрофотоснимков. В Институте мерзлотоведения г. Якутска (ИМЗ СО РАН) проводилось уточнение данных кадастра на основе материалов дистанционного зондирования и топографических карт в масштабе 1:200 000 1989 г. При исследовании наледного питания в бассейне р. Яны нами были использованы данные, уточненные работниками ИМЗ. Для бассейнов р. Сунтар и р. Анмангында аналогичная работа была произведена авторами статьи самостоятельно при использовании данных дистанционного зондирования.

Методы исследования

В ходе работы для подсчета наледного стока был разработан соответствующий блок для детерминированной распределенной модели формирования стока «Гидрограф» (Виноградов, 1988; Semenova et al., 2013). Модель содержит в себе алгоритмы, описывающие динамику тепла и влаги в почвенном профиле в явном виде. Использование в качестве входной информации ограниченного числа метеорологических переменных (температура и влажность воздуха, осадки) позволяет рассчитывать сток на малоизученных бассейнах. Результатами моделирования является не только сток воды в замыкающем створе, но и распределенные переменные состояния ландшафтов – характеристики снежного покрова, температура и влажность почвы на разных глубинах, глубина протаивания и промерзания, глубина залегания грунтовых вод и др., что позволяет проводить многокритериальную валидацию результатов расчетов на их соответствие наблюдаемым процессам и явлениям.

Табл. 1 Значения наледности и величины наледного стока для исследуемых водосборов

Номер поста	Река-створ	Период	Площадь водосбора, км2	Общая площадь наледей по кадастру, км2	Наледность по кадастру, %	Слой наледного стока, мм	Среднемноголетний годовой слой стока в створе, мм	Слой наледного стока, %
3443	р.Адыча - ГМС Усть-Чаркы	1960-2015	52800	185.92	0.35	8.1	203	4.0
3445	р.Адыча - г.п.Юрдюк-Кумах	1937-2015	89600	407.1	0.45	10.1	192	5.3
3474	р.Чаркы - 3.5 км от устья	1949-2007 (нет 1990)	8290	113.15	1.36	31.5	239	13.2
3430	р.Дулгалаах - с.Томтор (приток Яны)	1956-2015	23900	122	0.51	11.3	143	7.9
3424	р.Сартанг - с.Бала (приток Яны)	1957-2015	16700	28.66	0.17	3.9	94	4.1
3499	р.Сунтар - устье р.Сахарынья	1956-2015	7680	58.24	0.76	17.4	189	9.2
1604	р.Анмангында – Тенькинская трасса,159-й км	1962-1992	400	6	1.5	24*	301	8*

**по Соколову (1975)*

Для создания блока расчета наледного стока рек в качестве основы был принят и адаптирован к гидрологической модели метод Б.Л. Соколова (1975). Для расчета стока методом Соколова необходимы следующие исходные данные: 1) даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 весной и осенью; 2) суммы положительных среднесуточных температур воздуха по периодам в 10 дней; 3) максимальные площади наледей в конце зимы; 4) высота местоположения наледей. Метод позволяет рассчитать гидрограф наледного стока с наледей разного происхождения за многолетний период и отдельные годы. Недостатки метода состоят в том, что уточнение значений параметров эмпирических расчетных формул, предложенных Соколовым (1975), практически невозможно ввиду отсутствия данных натурных наблюдений за наледями.

Разработанный блок наледного питания позволяет учитывать сезонное и внутригодовое перераспределение воды, сосредоточенной в наледях. Поправка входной метеорологической информации согласно трендам климатических изменений позволяет установить увеличение или уменьшение доли наледного стока в формировании стока рек в будущем.

Данные спутниковых снимков за 1999-2017 года дают возможность проследить динамику наледности для тестовых водосборов и провести анализ корреляции такой динамики с климатическими факторами и данными о стоке рек, что в дальнейшем на основе математического моделирования может дать оценку и прогноз роли наледей в формировании гидрологического режима в условиях изменяющегося климата.

Первые результаты и выводы

Сравнение данных дистанционного зондирования с информацией, приведенной в Кадастре наледей Северо-Востока (1958) выяснилось, что для бассейна р. Чаркы в Кадастре отсутствуют довольно большие наледи, которые были обнаружены на космо-снимках и наоборот. На основе данных о расположении (Рис. 1) и характеристиках наледей в бассейнах выбранных рек проведен расчет наледного стока методом Соколова с использованием современных метеорологических данных и оценен вклад наледей в формирование стока в замыкающем створе (Табл.1). В ходе оценки стока с наледей нами использовались метеорологические данные за декады летнего периода 2005 года. Для р. Чаркы - 3,5 км от устья слой наледного стока составляет от 4 до 13,2% от величины многолетнего стока. Для р. Сунтар, в бассейне которого также расположены ледники (0,11% площади), величина стока с наледей составляет более 9%, что ставит наледи на одну ступень с такими важными в формировании стока объектами, как ледники.

При значительном вкладе наледей в питание рек Северо-Востока и в условиях изменяющегося климата понимание роли наледей в формировании общего стока является важной задачей, решение которой позволит понять процессы изменения стока в бассейнах малых, средних и крупных рек.

Список литературы

Алексеев В.Р. Наледность криолитозоны и Прирост русловой сети // Лед и снег, №3, 2014

Алексеев В.Р. Наледи. Новосибирск: Наука, 1987. 256 с.

Виноградов Ю.Б. (1988) Математическое моделирование процессов формирование стока. Опыт критического анализа. – Л.: Гидрометеоиздат, 312 с.

Виноградов Ю.Б. и Виноградова Т.А. (2010) Математическое моделирование в гидрологии. – М.: Академия, 366 с.

Гаврилова М.К. Изменение современного климата области «вечной мерзлоты» в Азии // Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии. – Якутск: СО РАН, 2003. – С.13-18.

Кадастр к карте наледей Северо-Востока СССР Масштаба 1:2000000. Шильниковская З.Г.// Центральная комплексная тематическая экспедиция Северо-Восточного геологического управления. Магадан. 1958

Карта наледей Северо-Востока СССР Масштаба 1:2000000. Симаков А.С., Шильниковская З.Г. // Северо-Восточное геологическое управление Главного управления геологии и охраны недр при Совете Министров РСФСР. Центральная комплексная тематическая экспедиция. Магадан. 1958

Поморцев, Е.П. Кашкаров, В.Ф. Попов. Наледи: глобальное потепление климата и процессы наледеобразования (Ритмическая основа долгосрочного прогноз) // Вестник ЯГУ, 2010, там 7, № 2

Поморцев О.А., Мынбаева Г.У., Ефремов В.С. Влияние наледей на радиальный прирост сосен в Центральной Якутии//Материалы гляциологических исследований. – 2007. – Вып. 103. – С. 47-57.

Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 17. Лено- Индигирский район. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 651 с.

Соколов Б. Л. Наледи и речной сток / Б. Л. Соколов. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1975. - 190 с

Толстихин О.Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 164 с.

Kane, D. L. and C. W. Slaughter 1973 Recharge of a central Alaska lake by subpermafrost groundwater. Nat. Acad. Sci, 38, 458-462

Reedyk S. Woo MK Prowse TD 1995 Contribution of icing ablation to streamflow in a discontinuous permafrost area // Canadian Journal of Earth Science, 32: 13-20

Mathematical modelling of aufeis flow and assessment of their role in formation of hydrological regime of North-East Russia

***Nesterova N.*[1,2], *Makarieva O.*[1,2,3,4], *Shikhov A.*[5], *Ostashov A.*[1]**

[1]*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, nnesterova1994@gmail.com*

[2]*State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia*

[3]*Gidrotehproekt Ltd, St. Petersburg, Russia*

[4]*Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russia*

[5]*Perm State University, Perm, Russia*

nnesterova1994@gmail.com

Abstract: The aim of the research is to develop and approbate mathematical modeling methods for estimating and predicting the role of aufeis in the runoff formation of the rivers at the North-East of Russia. Within the framework of the work, tasks such as the development of an algorithm for calculating aufeis runoff based on the Sokolov method (1975) and its integration into the hydrological model "Hydrograph" were solved; assessment of the dynamics of formation and melting of aufeis for several watersheds of rivers using remote sensing data (within the basin of the Yana, Indigirka and Kolyma rivers). On the basis of modeling of runoff formation processes, quantitative estimates of aufeis runoff for six test watersheds were obtained.

Keywords: aufeis, runoff formation, hydrological “Hydrograph” model, North-East of Russia

Водный баланс криолитозоны: компенсирующая роль сезонного протаивания (на примере Анадырской низменности)

***Нутевекет М.А.*, Трегубов О.Д., Уяганский К.К.**
Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН
marin_art95@mail.ru

Аннотация: Проанализированы условия летнего питания бассейна р. Круглая за счет талых вод деятельного слоя и сегрегационных льдов кровли многолетнемерзлых пород. Рассчитаны параметры летнего питания для типичного малого водосборного бассейна Анадырской низменности. Изучена межгодовая и многолетняя динамика атмосферных осадков и глубины сезонного протаивания за 1998-2017 годы. Установлено, что талые воды надмерзлотного водоносного горизонта сопоставимы по объемам с атмосферным питанием реки. Отмечено, что аномальное вытаивание подземных льдов в теплые и засушливые года компенсирует недостаток летних осадков. Обильные летне-осенние осадки, которые часто предшествуют дефицитному по осадкам году, депонируются промерзающим слоем до следующего лета.

Ключевые слова: Сезонноталый слой, надмерзлотный водоносный горизонт, водный баланс криолитозоны.

Введение

Водный баланс малых речных систем низменностей криолитозоны более чем на 90 % обеспечивается атмосферными осадками (Давыдов и др., 1973). В отличие от горной местности доля питания рек здесь за счет конденсата, подрусловых и сквозных (подмерзлотные воды) таликов незначительна. Зимой расход воды с речного бассейна прекращается – СТС, термокарстовые озера, малые реки и ручьи полностью промерзают. Непосредственное питание низменных рек и ручьев за счет таяния снежного покрова ограничивается июньским половодьем. Летне-осенние паводки нерегулярны. Однако обильные осенние дожди обеспечивают увеличение льдистости СТС, а по существу запасов воды надмерзлотного горизонта будущего года (Шепелев, 2011). Мощность надмерзлотного водоносного горизонта определяется глубиной сезонного протаивания и обводненностью протаивающего слоя. Источником влаги являются тающие сезонный грунтовый лед и повторно-жильный лед, летние осадки. Интенсивность стока надмерзлотных вод при всех прочих равных условиях определяется мощностью и льдистостью СТС, количеством летних осадков.

Объекты и методы

Анадырская низменность площадью чуть более 30 тыс. км^2 окружена горными хребтами и открыта к Анадырскому заливу Берингова моря. Среднегодовая температура воздуха на рассматриваемой территории отрицательная (табл. 1). Даты наступления среднесуточной температуры выше и ниже 0 градусов – 28.V и 29. IX. Продолжительность теплого периода года 84, безморозного 54 дня. Наибольший наблюденный месячный максимум осадков летних: август - 101 мм, зимних: январь - 124 мм, годовой максимум - 434 мм. Устойчивый снежный покров формируется во вторую декаду октября и сходит в первую декаду июля. Запас воды в снежном покрове на начало снеготаяния 37 мм, средний наибольший за зиму – 68 мм (Яньшин, 1991).

Пограничное положение низменности отражается в ее геокриологических условиях. Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) изменяется от 250 м в северной части до 80

м в предгорьях Корякского нагорья. Температура ММП изменяется от -5 до -2 ^{0}С. Подземные льды в основном представлены повторно-жильными льдами, сегрегационными льдами и льдогрунтами переходного и промежуточного слоев (Шур, 1988). Общим для обширной территории является мелкоувалистый полигональный рельеф с мелким типом сезонного протаивания (0,4-1 м), широкое распространение термокарстовых озерно-болотных котловин. Гидросеть территории образуют притоки крупных транзитных рек и малые реки, впадающие в акваторию эстуария Анадырь, а также ручьи и протоки, питающие и соединяющие термокарстовые озера.

В основе работы результаты многолетнего мониторинга СТС на трех площадках CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring), характеризующие ландшафтное разнообразие анадырских тундр (Трегубов и Львов, 2014). Площадки (100х100 м) – «Онемен», «Дионисий» и «Круглая» разбиты в пределах ненарушенных мерзлотных ландшафтов в ранге фаций и урочищ:

– уплощенная вершина тундрового увала с пологими склонами и абсолютными отметками высот 18-20 м, покрытая климаксовой редко кочкарной кустарничковой мохово-пушицевой растительностью («Онемен»);

– подножье возвышенности с уклоном рельефа до 3^0 и абсолютными отметками высот 145-150 м, с западинами, пятнами медальонами, парковой порослью кустарниковой ольхи, травяными полосами стока и мохово-разнотравно-кустарничковыми крупными кочкарниками («Дионисий»);

– плоское днище 2,5 м от уровня моря озерно-болотной котловины с разреженным низкорослым ивняком и пестрой растительностью от осоково-сфагнумовых болотин до бугорковых мохово-кустарничковых тундр («Круглая»).

Табл. 1 Климатические параметры по данным метеостанции «Анадырь»

Месяцы												За год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя температура воздуха												
-22,8	-22,7	-21,0	-13,2	-3,3	4,9	10,7	9,2	3,6	-5,6	-14,4	-20,9	-8,0
Осадки:												
твердые												
21	13	13	12	10	1	.	.	5	11	16	18	120
жидкие												
.	.	.	.	.	16	37	44	23	14	.	.	134
всего												
21	13	13	12	10	17	37	44	28	25	16	18	254

Средние значения мощности СТС в разные годы изменяются: «Онемен» 38-58 см; «Дионисий» 45-67 см, Круглая 42-49 см. Степень обводненности площадок имеет сезонный характер и зависит от погод конкретных лет, в межкочечных западинах летом влага присутствует почти всегда. Почвы тундровые типичные глеевые и глееватые торфянистые и торфянисто-перегнойные.

Оценка динамики сезонного протаивания и водного баланса сделана для бассейна р. Круглая, в нижнем течении которой располагается одноименная площадка мониторинга СТС. Территория исследования относится к холмисто-увалистой периферии низменности. Река протяженностью 8 км, имеет два притока: руч. Ольховый (3,8 км) и руч. Озерный (5 км). Круглая впадает непосредственно в залив Онемен Анадырского лимана. Исток реки, а также исток руч. Озерный приходится на группу термокарстовых озер Сенокосные (0,24 км^2). В створе реки 850 м выше устья в летнюю межень 2011 года определены ширина

водного потока русла - 2,8 м, глубина – 0,25 м, скорость 0,4 м/с, что позволило оценить на тот момент сток с территории бассейна 9,8 л/сек·км^2.

Речным бассейном с площадью водосбора 23,8 км^2 охвачена увалистая тундра с высотой возвышенностей от 120 м в верхнем течении до 30 м в нижнем и относительным превышением от 60 до 25 м. В пределах водосбора распространены типичные кочкарники на морской террасе и склонах крутизной 1-3, верховые и низинные тундроболота на уплощенных водоразделах в верховьях ручьев и в озерно-болотной котловине. Долина реки и основных притоков в верхнем течении и в устье невыраженная, уплощенная. На выходе к устью в долине Круглой выделяется пойма и фрагментарно невысокая надпойменная терраса, сложенная песчано-глинистыми осадками.

Методика мониторинга сезонного протаивания на площадках CALM размером 100х100 м заключается в ежегодном измерении металлическим щупом 1 м мощности СТС по сети 10х10 м. Всего 121 ежегодное измерение. Кроме замеров на площадках и в их окрестностях наблюдались экзогенно-криогенные процессы, описывались разрезы СТС в шурфах, расчистках и естественных обнажениях. Анализ динамики осадков проведен по фактическим данным наблюдений погоды на метеостанции «Анадырь» доступных в сети Интернет (http://meteocenter.net/). Исследования включали расчет годового количества жидких и твердых осадков в период мониторинга СТС - 1998-2017 гг.

Для водосборного бассейна р. Круглая выполнено районирование по условиям сезонного протаивания. В основе районирования рельеф поверхности и степень заболоченности территории. Районирование проводилось на топооснове 1:100000, по результатам дешифрирования топографической карты масштаба 1:25000 с учетом полевых наблюдений 2011-2016 гг. В легенде схемы выделы районирования сопоставлены с характеристиками площадок мониторинга СТС по динамике протаивания и свойствам переходного слоя (ПС). Оценка режима надмерзлотных вод бассейна р. Круглая сделана на основе площадной схемы районирования. За норму водной обеспеченности надмерзлотного горизонта талой водой принято количество вытаивающего льда в СТС при минимальной его льдистости (30%). Расчет дополнительного поступления талой воды в надмерзлотный горизонт от льдистого ПС сделан для пиковых коротких колебаний (максимумов) глубины сезонного протаивания. Расчеты выполнялись для каждого ландшафта раздельно и водосборного бассейна в целом. Оценка компенсирующей роли аномального сезонного протаивания в водном балансе реки Круглая выполнена путем сравнительного анализа графиков колебаний объемов питания бассейна за счет атмосферных осадков и поступления талых вод СТС.

Результаты исследования и их обсуждение

В условиях Анадырской низменности разрез СТС соответствует профилю тундровых почв. Строение почвенного профиля определяется рельефом местности и растительным покровом. Ниже среднемноголетней глубины сезонного протаивания залегает переходный слой (ПС) мощностью 0,3-0,5 м, который представляет собой ледогрунтовый горизонт с линзами и слоями сегрегационного льда (Шур, 1988). Для наблюдений и описания переходный слой доступен в шурфах и в обрывах Анадырского лимана в мерзлом или уже в оттаявшем состоянии. Минеральная составляющая ПС представлена тонкой супесью силикатного состава.

В зависимости от сезона года вода в надмерзлотном горизонте находится в твердом (лед) или жидком состоянии (Шепелев, 2011). Сезонная льдистость водоносного горизонта определяется ландшафтными условиями и количеством выпавших дождей в августе-сентябре. По многолетним наблюдениям сезонного пучения торфянистых почв ее ежегодная величина изменяется от 30 до 95 объемных %.

Оттаивание начинается еще до полного схода снежного покрова, после которого многократно ускоряется и затухает при протаивании 2/3 мощности СТС. Водоносный горизонт залегает на фронте сезонной оттайки, который одновременно является водоупором и источником талой воды. Интенсивность дренажа определяется рельефом кровли многолетней мерзлоты, который не тождественен рельефу поверхности (Трегубов, 2017). По данным наблюдений в отсутствии осадков в засушливые периоды водоносный горизонт сохраняется на границе протаивания мощность до 10 см.

Динамика коротких колебаний глубины сезонного протаивания в различных ландшафтах Анадырской низменности в первую очередь отличается амплитудой (А). По данным 20 летних наблюдений размах колебаний (2А) максимален на склонах увалов (4-12 см) и минимален на уплощенных заболоченных поверхностях (2-5 см), вершины увалов и склоны крутизной менее 1^0 покрытые типичными кочкарными тундрами занимают промежуточное положение (3-8 см). Колебания периодом 2-3 года в разных ландшафтах низменности за единичным исключением синхронны. Отмечаются также колебания более длительного 10-11 летнего периода с размахом до 22 см. Для большинства климатических областей криолитозоны причиной роста мощности СТС является повышение среднелетней или среднезимней температуры, увеличение продолжительности теплого периода года. В периоды увеличения мощности происходит разовое (однолетнее) или последовательное (двухлетнее) вытаивание ПС (деградация), а затем его восстановление (аггрaдация). При деградации ПС мощность водоносного горизонта, запасы вод и их дренаж возрастают на величину увеличения мощности СТС и поступающей талой воды. При аггрaдации происходит обратный процесс, и часть свободной воды переходит в лед на 1-2 года или на 5-6 лет (11 летний цикл). Интенсивность этого процесса зависит от ландшафтного строения водного бассейна. Для низменных ландшафтов с невысокими и пологосклонными увалами, низинными и верховыми болотами характерны минимальная глубина залегания ПС, максимальная его льдистость.

По данным климатических наблюдений 1998-2017 гг. в сравнении с 1926-1948 гг. среднегодовая температура возросла на 1,6 ^{0}С. Количество осадков увеличилось по сравнению с периодом наблюдений 1937-1958 на 127 мм, фактически на 50%. При этом вариация среднегодового, летнего и зимнего количеств осадков увеличилась соответственно до 30%, 33 и 43%. Обильные по осадкам 2-3 летние периоды чередуются с 1-2 летними относительно засушливыми. Неизбежно возникает вопрос, насколько и каким образом водные экосистемы низменностей криолитозоны приспособлены к таким изменениям (колебаниям) климата. Каков механизм компенсирования уменьшения или увеличения количества осадков, их сезонного соотношения и межгодовых вариаций?

Рост осадков в основном произошел за счет холодного времени года (130 мм), что и обусловило частые критические половодья на Чукотке последних лет. Межгодовые колебания климата оказывают влияние на мощность СТС. Рассмотрим, как колебания глубины сезонного протаивания сочетаются с межгодовыми изменениями летних осадков и условий питания речного бассейна р. Круглая. Это позволяют сделать рассчитанные величины поступления в водосбор талой воды при протаивании СТС на среднемноголетнюю глубину с учетом принятой его минимальной льдистости (30%). А также поступления талой воды от краткосрочного вытаивания льдистого слоя (95-100%) в максимумы колебаний мощности СТС. Расчет количества летних осадков сделан для водосборного бассейна площадью 23,8 км^2. Поступление талых вод за счет таяния деятельного слоя оценивалось путем суммирования стока с площадей выделов районирования по различным условиям сезонного протаивания и стока: склоны крутизной $3\text{-}7^0$ – 0,24 км^2 («Дионисий»); склоны крутизной $1\text{-}3^0$ – 12,5 км^2 («Онемен»); заболоченные уплощенные вершины и днища котловин < 1^0 - 11 км^2 («Круглая»). Аналогичным образом произведен расчет поступления талых вод от таяния льдистого переходного слоя. На диаграмме снизу-вверх выделены три области, соответствующие питанию речного

бассейна атмосферными осадками, талыми водами деятельного слоя и льдистого переходного слоя (рис. 1).

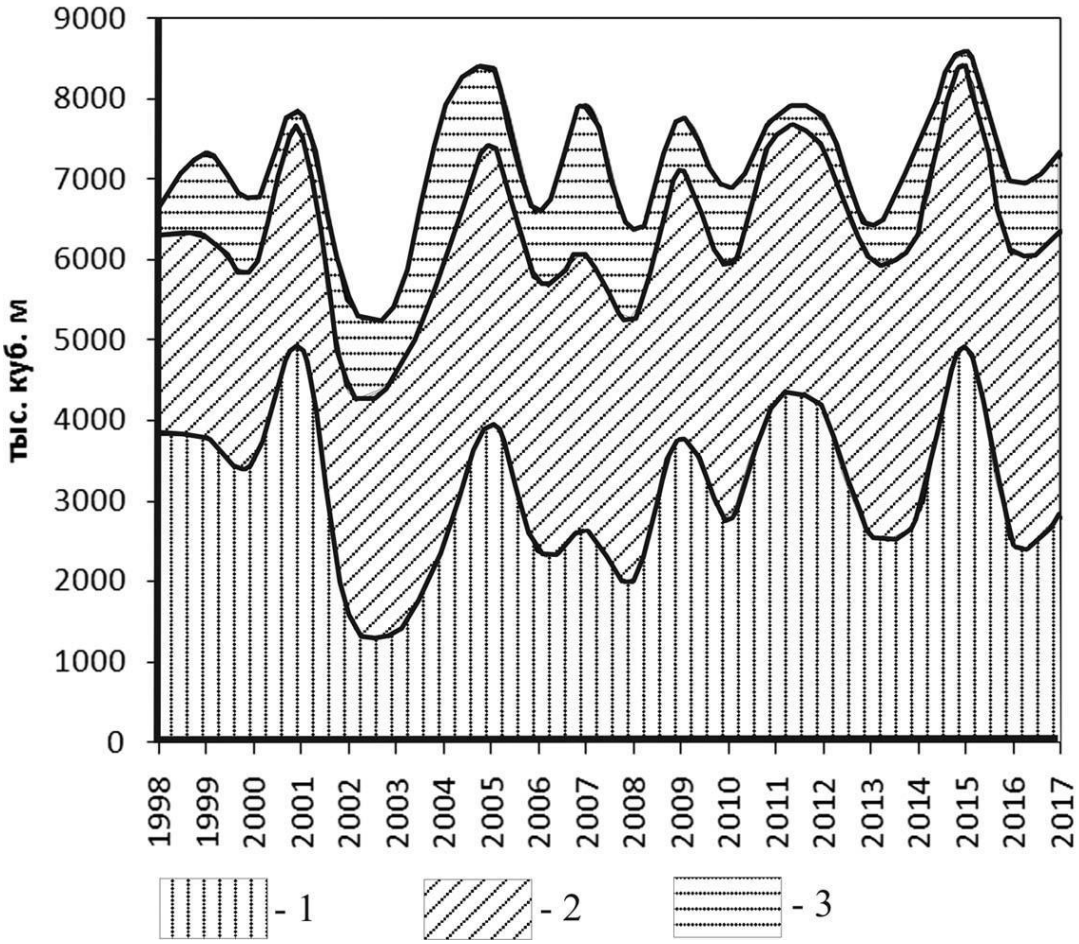


Рис.1. Моделирование летнего питания бассейна р. Круглая в период 1998-2017 гг.:(атмосферные осадки, 2 - талые воды СТС, 3 - талые воды ПС)

Межгодовая динамика изменения баланса питания речного бассейна наглядно иллюстрирует роль талых вод в компенсировании дефицита атмосферных летних осадков, особенно от таяния льда переходного слоя – 1999, 2007. Необходимо также учитывать, что льдистость СТС принята минимальной и неизменной. Очевидно, что на следующий после пикового по осадкам год льдистость СТС будет повышена, а компенсирующая роль талых вод возрастет: 2001-2002, 2005-2006, 2012-2013, 2015-2016 (см. рис. 1). Линейные графики, показывающие динамику осадков и результаты последовательного суммирования талых вод, закономерно уменьшают вариации значений в рядах наблюдений: 33, 16, 12%.

Выводы

1. Сезонноталый и переходный слой являются сезонными и многолетними депонирующими средами атмосферных осадков для речных бассейнов низменностей криолитозоны.

2. По количеству талые воды СТС сопоставимыми с летними атмосферными осадками, а талые воды ПС с их вариациями.

3. В засушливые годы талые воды СТС и ПС компенсируют дефицита атмосферного питания речных бассейнов низменностей криолитозоны.

Список литературы

Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г. Общая гидрология Л.: Гидрометеоиздат, 1973. - 463 с.

Трегубов О.Д., Львов А.П. Репрезентативность наблюдений глубины сезонной оттайки в тундровых ландшафтах // Вестник СВФУ, 2014. Том 11. № 5. С. 89-99.

Трегубов О.Д. Геохимические барьеры в почвах и ландшафтах Анадырской тундры // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 3. С. 70-79.

Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. – 169 с.

Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. – Новосибирск: Наука, 1988. 213 с.

Яньшин А.Б. Гидрометеорологический очерк Чукотского автономного округа. Часть II. Побережье Берингово моря. – Владивосток. 156 с.

The water balance of the permafrost zone: the compensating role of seasonal thawing (on the example of the Anadyr lowland)

Nuteveket M.A., Tregubov O.D., Uyganskiy K.K.

North-East interdisciplinary scientific research Institute. N.A. Shilo, Feb RAS

marin_art95@mail.ru

Abstract: We analyze the conditions of the summer food of river basin Kruglay from melt waters active layer and segregated ice of the roof of permafrost. We have calculated the parameters of the fallout of the year precipitation on typical small watershed of the Anadyr lowland. We were studied between years and perennial track record of the atmospheric precipitation and depths seasonal thawing for 1998-2017 years. We have found that melt water from the active layer are comparable in number with the atmospheric power of the river. The anomalous thawing of underground ice in warm and dry years compensates for the lack of summer precipitation. The ample autumn rain often proceeds the deficit year on setting, are deposited being frozen solid слоем before the following summer.

Keywords: Active layer, the supra permafrost aquifer, the water balance of the permafrost zone.

Инфильтрация высокоминерализованного раствора в мерзлый массив

Попов В.И
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск
popov.gtf@mail.ru

Аннотация: Представлены результаты математического моделирования инфильтрации высокоминерализованного раствора в мерзлый массив горной породы. Составлена математическая модель процесса инфильтрации высокоминерализованного рассола из временного полузаглубленного хранилища. Учтены эффекты разбавления и концентрирования рассолов при фазовых превращениях лед-вода и вода -лед. Результаты расчетов качественно соответствуют основным особенностям процесса захоронения высокоминерализованных растворов – определяя снижение температуры в зоне плавления льда и понижение давления порового воздуха из-за уменьшения объема при фазовом превращении лед-вода.

Ключевые слова: математическое моделирование, высокоминерализованный раствор, инфильтрация, мерзлые породы, фазовые равновесия.

Введение.

Отработка некоторых алмазных месторождений Севера сопровождается притоком в карьер подземных вод объемом до 80 м^3/час. Минерализация вод достигает 350г/л. Из-за высокой концентрации галогенов, сброс дренажных рассолов в речную сеть запрещен. Поэтому захоронение осуществляется в терригенно-карбонатные многолетнемерзлые породы кембрийского возраста, залегающие в интервале глубин 150-250 м. (Алексеев и др., 2000).

В основе используемого метода захоронения рассолов лежит способность высокоминерализованных рассолов плавить текстурообразующие льды в горных породах в широком диапазоне отрицательных температур (Алексеев и др. 2000; Климовский и др., 2002).

В данной работе на основе вычислительного эксперимента рассматривается процесс миграции высокоминерализованного техногенного рассола в мерзлом горном массиве. Основное внимание при этом сосредоточено на моделировании фазового состояния рассола и процессов конвективного и диффузионного переноса рассола в массиве, включая соответственно, механизмы разбавления порового рассола и плавления льда при контакте с рассолом.

Описываемый процесс также может быть реализован при организации некоторых технологий выщелачивания в условиях криолитозоны, например, при использовании реагентов, сохраняющих высокую активность в концентрированном рассоле, обеспечивающем проницаемость мерзлой горной породы.

Для упрощения, вычислительный эксперимент проведен в предположении однородности свойств горных пород, характеризующихся одной формой уравнения фазового равновесия поровой влаги.

Формулировка математической модели

Математическая модель процесса тепломассопереноса при промерзании состоит из трех уравнений параболического типа с конвективным членом; 1) уравнения конвективной теплопроводности; 2) диффузионно - конвективного движения влаги; и 3) растворенного компонента; замыкаемые уравнением фазового равновесия поровой влаги $T_F = T_F(w, C)$, объединяющим параметры термодинамического равновесия - температуру,

влагосодержание и концентрацию. С помощью введения параметра захвата – $k_{ЗАХ}$ предусмотрена возможность селекции растворенного компонента на внутренней границе лед-рассол.

1) Уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial(c\rho T)}{\partial t} = -\nabla J_T + L\rho I_F; \quad (1)$$

2) Уравнение переноса влаги

$$\frac{\partial(w)}{\partial t} = -\nabla J_W - I_F; \quad (2)$$

3) Уравнение переноса солей

$$\frac{\partial(wC)}{\partial t} = -\nabla J_C - k_{ЗАХ} C I_F; \quad (3)$$

Уравнение состояния порового раствора $T_F = T_F\ (w, C)$, учитывает специфические характеристики среды - потенциал адсорбционного взаимодействия, величину удельной поверхности, концентрацию порового раствора (Попов, 2005).

При наличии инфильтрационного потока талых вод в мерзлую породу необходимо сделать некоторые упрощения задачи тепломассопереноса. Обычно полагают что потоками пара и перемещением льда можно пренебречь.

Важное значение для целей нашего анализа. имеет вид гидравлической проводимости в условиях неполного насыщения пород. Используем для величины гидравлической проводимости следующее выражение (Lundin, 1990).

$$K(h)=\frac{K_s S_e^l \left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2}{K_s S_e^l \left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2} \quad (4)$$

Для пор, содержащих лед в увеличение фильтрационного сопротивления определяется в соответствии с работой (Hansson,2004)

$$K(h)_{frozen} = 10^{-\frac{\Omega w_i}{w_t - w_r}} K(h) \quad (5)$$

Решение системы уравнений (1-3) осуществляется на основе конечно - разностных соотношений полученных с помощью интегро-интерполяционного метода. При решении задачи о фазовом превращении использован ранее разработанный метод прямого (не итерационного) определения количества влаги, замерзающей (оттаивающей) на каждом шаге по времени (Попов, 2005). Используются процедуры расщепления по физическим процессам (фильтрация, диффузия, фазовый переход) исходной системы уравнений (1-3).

Геометрия двумерной области борта карьера определяется следующим образом: угол откоса борта карьера составляет 60^0, десятиметровая зона инфильтрации расположена на расстоянии 42 м. от уступа, высота уступа составляет 35 м. В начальный момент t=0 в течение времени $t_{инф}$ высокоминерализованный раствор с температурой $T_{рас}$ и концентрацией $C_{рас}$ инфильтрует на участке уступа карьера, расположенного в породном массиве с отрицательной температурой – $T_{мас}$. По окончании времени инфильтрации граничные условия на участке могут меняться.

На границах борта и уступа карьера действует конвективный теплообмен с воздушной средой с температурой $T_{СР}$, потоки влаги и солей равны нулю. На границах симметрии и удаленных ставятся условия равенства нулю потоков тепла, влаги и соли. Так как массив имеет первоначально отрицательную температуру то величины содержаний воды, льда и концентрации определяются на основе уравнения фазового равновесия по начальным значениям однородного влагосодержания и концентрации, заданных для талого состояния.

Результаты расчетов

Результатами расчетов определена зона понижения температуры массива при взаимодействии порового льда с рассолом высокой минерализации. Понижение температуры вызвано процессами расплавления льда рассолом и соответствующим поглощением скрытой теплоты фазового перехода отбираемой от массива. Обнаружена зависимость величины понижения температуры от скорости фильтрации,что связано с энергетическими затратами на увеличивающийся объем расплавляемого рассолом льда.

На рис. 1 приведены результаты расчетов на конечные моменты процесса инфильтрации для заглубленного хранилища концентрированных рассолов. Расчеты проведены для значений температуры массива $T_{мас}$=–2°C; температуры рассола равной температуре поверхности массива; концентрации рассола $C_{рас}$=100*C_0; начальная концентрация порового раствора в массиве C_0=1 г/л.; начальная влажность массива равна 0,13. Температура среды теплообмена соответствует годовому тренду. Для оценки скорости конвективного переноса фильтрационным потоком использованы данные гидрометеорологических наблюдений, согласно которым средний уровень годовых осадков, фильтрующихся за летний период (ориентировочно 120 -150 суток) составляет 325 мм. Из этих величин получим приближенную оценку для скорости фильтрации V_0= 2.5 10^{-8} м/сек для массива в талом состоянии.

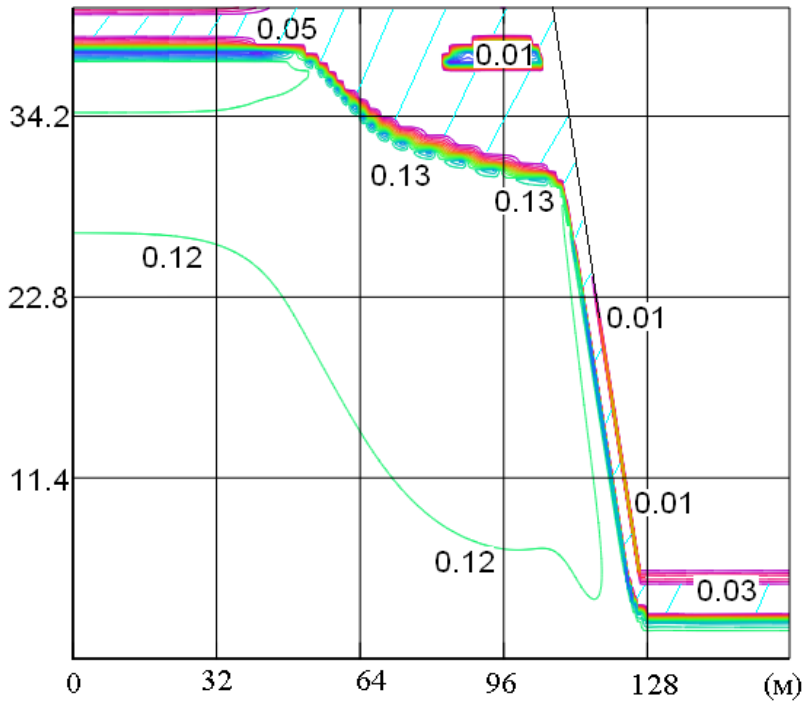


Рис. 1 Распределение изолиний льдосодержания в массиве в области инфильтрационного потока. (10.5 года) в зоне хранилища рассола. Штриховкой выделена зона свободная от порового льда.

На рисунке 1 представлены изолинии распределения поля льдосодержания в зоне влияния инфильтрационного потока, выходящего на борт карьера.

Выводы

Изменение первоначально однородного поля льдосодержания происходит в процессе оттайки порового льда при его взаимодействии с фильтрационным потоком рассола. Процессы деградации порового льда в породном массиве в рассмотренных вариантах приводят к снижению устойчивости борта карьера, усилению эрозионного влияния фильтрационных потоков. Условия инфильтрации под хранилищем рассолов (водоемом)

и его высокая концентрация провоцируют более агрессивный характер поведения рассола, и зона деградации мерзлого состояния массива имеет обширный характер по сравнению с такими параметрами для рудного склада.

Результатами расчетов установлено образовании ледяной оболочки вокруг области фильтрующего рассола. Формирование оболочки вызвано охлаждающим эффектом из-за плавления льда. Движение фильтрующего рассола лимитируется процессами диффузионного распространения растворенных компонентов, которые обуславливают плавление льда. Результаты расчетов качественно соответствуют основным особенностям процесса захоронения (Алексеев и др. 2000; Климовский и др., 2002) высокоминерализованных растворов – определяя снижение температуры в зоне плавления льда и понижение давления порового воздуха из-за уменьшения объема при фазовом превращении лед-вода.

Список литературы

Алексеев С.В. Первый опыт захоронения соленых дренажных вод карьера трубки «Удачная» в многолетнемерзлые породы[Текст]/С.В. Алексеев, А.В.Дроздов, Т.И.Дроздова, Л.П.Алексеева//Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 2, с.61-65.

Климовский И.В. Гидрогеологические условия полигона подземного захоронения дренажных вод трубки «Удачная»/И.В. Климовский, С.П. Готовцев, В.В. Шепелев // Криосфера Земли, 2002, т.VI, №3, с. 45-50.

Попов В.И. Новый метод решения задач промерзания в спектре температур// Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны: Труды международной научно-практической конференции (г. Якутск 14 – 17 июня 2005 г.). Том 2. – Якутск: Изд-во института мерзлотоведения СО РАН. – 2005. – С. 57-59.

Lundin, L.-C.1990. Hydraulic properties in an operational model of frozen soil. J. Hydrology 118: 289-310.

Hansson, K., Simunek,J., Mizogguchi, M., Lundin, L.C. & van Genuchten, M.Nh. 2004. Water flow and heat transport in frozen soil: Numerical solution and freeze-thaw applications Vadose Zone Journal 3: 693-704

Modeling of the process of infiltration of high-mineralized solution in frozen mountain rocks

Popov V.I.
Cherski Institute of Mining of the North SB RAS, Yakutsk
popov.gtf@mail.ru

Abstract: The results of mathematical modeling of the infiltration of a highly mineralized solution into a frozen rock mass are presented. A mathematical model of the process of infiltration of a highly mineralized brine from a temporary semi-buried storage facility is compiled. The effects of dilution and concentration of brines in the phase transformations of ice-water and water-ice are taken into account. The results of calculations qualitatively correspond to the main features of the process of disposal of highly mineralized solutions - determining the temperature drop in the melting zone of ice and the lowering of the pore air pressure due to a decrease in volume during the ice-water phase transformation.

Keywords: mathematical modeling, highly mineralized solutions, infiltration, frozen rock, phase equilibria.

Использование физико-математической модели таяния снега и льда AMelt для реконструкции баланса массы ледников Внутреннего Тянь-Шаня

***Рец Е.П.*[1], *Петраков Д.А.*[2], *Шпунтова А.М.*[2]**
[1]*Институт водных проблем Российской академии наук, лаборатория гидрологии речных бассейнов, Москва, Россия*
[2]*Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*
retska@mail.ru

Аннотация: Невозможность охвата прямыми масс-балансовыми наблюдениями большого количества ледников диктует необходимость развития альтернативных способов оценки баланса. Физико-математическая модель таяния снега и льда AMelt была использована для реконструкции баланса массы за 2004-2015 гг. ледников Сары-Тор и №354, расположенных в пределах массива Ак-Шийрак, внутренний Тянь-Шань. Проверка результатов показала хорошее воспроизведение моделью прямых измерений таяния и уменьшения поверхности ледников по данным высокодетальных космических снимков.

Ключевые слова: Моделирование баланса массы ледников, физико-математическая модель таяния снега и льда AMelt, ледник Сары-Тор, ледник № 354, Тянь-Шань

Введение

В стоке основных рек Средней Азии ледники Тянь-Шаня играют значимую роль. В летнее время доля ледникового питания в стоке рек составляет 20-40%, достигая 70-80% в жаркие засушливые года. Для данного региона характерны высокие темпы сокращения площади ледников, которое, как ожидается, приведет в дальнейшем к понижению стока рек в летнее время (Hagg et al., 2013). Талые воды ледников Тянь-Шаня широко используются для орошения аридных предгорий, поэтому данные о балансе массы ледников этого района весьма актуальны. Для корректного прогнозирования грядущей эволюции ледников и связанным с ним изменением водообеспеченности требуется детальная информация об отклике оледенения на современные и прошлые изменения климата. Такую информацию могут дать как прямые наблюдения за балансом массы, так и моделирование массообмена ледника.

Прямые наблюдения за балансом ледников Внутреннего Тянь-Шаня были прекращены вскоре после развала Советского Союза. Именно такая ситуация сложилась и на леднике Сары-Тор, признанном опорным для оледенения массива Ак-Шийрак, и бывшим объектом масс-балансового мониторинга в 1985-1991 гг. Ледники Сары-Тор и №354 расположены в верховьях бассейна Нарына в пределах массива Ак-Шийрак. Ледник №354 был объектом прямых измерений баланса массы в 2011-2017 гг. (Kronenberg et al, 2016).

Данные и методы

Для моделирования баланса массы ледников Сары-Тор и 354 была использована физико-математическую модель таяния снега и льда в высокогорных бассейнах с распределенными параметрами AMelt, разработанная Рец Е.П. (2011). В основе моделирования таяния снега лежит решение уравнения теплового баланса в каждой точке расчетной сетки:

$$h_c = 10\frac{\omega}{L} = \frac{\omega}{8}, \quad (1)$$

$$\omega = (S_b + S_{df})(1 - A) + E_a - E_з \pm \omega_т \pm \omega_{и/к} \pm Q_м \pm Q_т, \quad (2)$$

где h_m – слой талой воды, мм; L – скрытая теплота плавления снега, равная 80 кал/г; ω – тепловой баланс поверхности снега или льда, кал/см^2, S_b – приходящая прямая коротковолновая радиация; S_{df} – то же, рассеянная; A – альбедо поверхности; E_a – встречное излучение атмосферы; $E_з$ – длинноволновое излучение земной поверхности; $\omega_т$ – турбулентный (явный) теплообмен с атмосферой; $\omega_{и/к}$ – скрытый поток тепла, обусловленный испарением и конденсацией; $Q_м$ – поток тепла через чехол моренных отложений; $Q_т$ – изменение энергии за счёт охлаждения и нагревания снега.

Ранее модель была апробирована для ледника Джанкуат (Северный Кавказ) (Рец и др., 2011, Рец и др., 2014). Сравнение результатов моделирования с результатами непосредственных наблюдений на сети абляционных реек показало хорошую воспроизводимость моделью данных натурных наблюдений. Коэффициент корреляции составляет 0.96-0.98, систематическое отклонение фактически отсутствует (Рец и др., 2011, Рец и др., 2014).

Для адаптации к климатическим условиям Средней Азии модель потребовала доработки. В модель были добавлены блоки расчета повторного замерзания воды в толще снега и на границе снег-лед, фильтрации волы через снежную толщу. Снежная толща в расчетной схеме представлена как система слоев, между которыми происходит теплопередача и гравитационная фильтрация воды. Также был добавлен расчет водоотдачи с единицы площади ледника.

Входными данными в модель послужили: 1) Цифровая модель рельефа, составленная из высокодетальной модели полученной для поверхности ледников Сары-Тор и 354 из стереопары GeoEye (29/07/2012) и цифровой модели SRTM для окружающих форм рельефа; 2) Метеорологические данные с разрешением в 1 час за 2003-2014 гг. с автоматической метеостанции Campbell, расположенной менее чем в 5 км от ледника, были предоставлены Кумтор Голд Компании; 3) Фирновая линия и границы ледников для каждого года определялись по снимкам Landsat.

Для калибровки таких параметров модели как градиент осадков, температурный скачок и градиент температуры, параметр концентрации осадков, толщина расчетного слоя снега и поверхностного слоя льда использовались данные изменения таяния по реечной сети на ледниках Сары-Тор и №354 в 2014-2015 гг. Были проведены тесты чувствительности модели к изменениям калибруемых параметров, показавший хорошую устойчивость расчетной схемы: при изменении значений толщина расчетного слоя снега и поверхностного слоя льда на порядок, завышение темпов таяния происходило в пределах 20-30%.

Результаты

Результаты моделирования представляют собой расчет слоя таяния снега, фирна и льда, и слой водоотдачи в каждой точке регулярной сетке (30*30 м) в каждый шаг времени (1 час).

Для верификации результатов моделирования было проведено сравнение изменения высоты поверхности ледника Сары-Тор за период 2003-2013 по стереопарам высокодетальных космических снимков QuickBird и GeoEye (Petrakov et al., 2016) с суммарным смоделированным значением баланса массы ледника за этот период. Среднее уменьшение высоты поверхности по геодетическому методу составило 3.8 м, по данным моделирования – 3.48 м. Отклонение результатов моделирования составило 8.4%, таким образом, можно говорить о том, что результаты моделирования при помощи модели AMelt достоверно отображают динамику баланса массы ледника. В среде R был написан

модуль, формирующий карты суммарных годовых значений элементов баланса массы ледника (аккумуляция, абляция, баланс массы).

Годовые значения аккумуляции на леднике Сары-Тор по данным моделирования изменяются год от года в пределах 0.8 – 1.4 м в.э. (метры водного эквивалента), значения абляции – от -1 до -1.8 м в.э. (рис. 16). Баланс массы ледника отрицателен для большинства лет в течение исследуемого периода (в среднем -0.49 м в.э. в год), его динамика повторяет тенденции, отмечаемые на ледниках Тянь-Шаня по данным прямых наблюдений (рис. 16-17). Единственным положительным с точки зрения баланса массы годом явился 2009, за счет низкой абляции и повышенной аккумуляции, наблюдавшейся в этом году. Положительный или слабоотрицательный баланс массы в 2009 году также характерен для большинства ледников Тянь-Шаня (рис. 17).

В результате моделирования на ледниках Сары-Тор и № 354 было установлено их активное таяние и изменение массы (рис. 1). В период с 2004 по 2015 год баланс массы ледников практически всегда имел отрицательное значение, что подтверждает гипотезу дегляциации в регионе и в том числе на массиве Акшийрак. В среднем, исследуемые ледники теряли около 0.5 м массы в водном эквиваленте (в.э.) в течение 2004-2015 гг. Колебания характеристик баланса массы на ледниках Сары-Тор и №354 достаточно синхронны и совпадают с региональными тенденциями (рис. 1). Ледник Сары-Тор терял массу более интенсивно в первую половину расчетного периода, 354-ый – во вторую. Единственный год, когда наблюдался положительный баланс массы на обоих ледниках - 2009 г. Для него характерны относительно большие значения аккумуляции (более 1.5 м в.э.) и низкие значения абляции (-1.2 м в.э.). Это соответствует условиям холодного, многоснежного лета. В 2009 г. положительный баланс массы наблюдался практически на всех исследуемых ледниках Тянь-Шаня согласно оценкам различных авторов (рис. 1).

Результаты моделирования для ледника № 354 были сопоставлены с опубликованными исследованиями по восстановлению его баланса массы с применением концептуальных подходов к моделированию (Kroneneberg et al, 2016). Наибольшую сходимость данные нашего исследования и Kroneneberg (2016) показывают в 2011-2014 года, когда эмпирическая модель Kroneneberg (2016) калибровалась по данным натурных наблюдений.

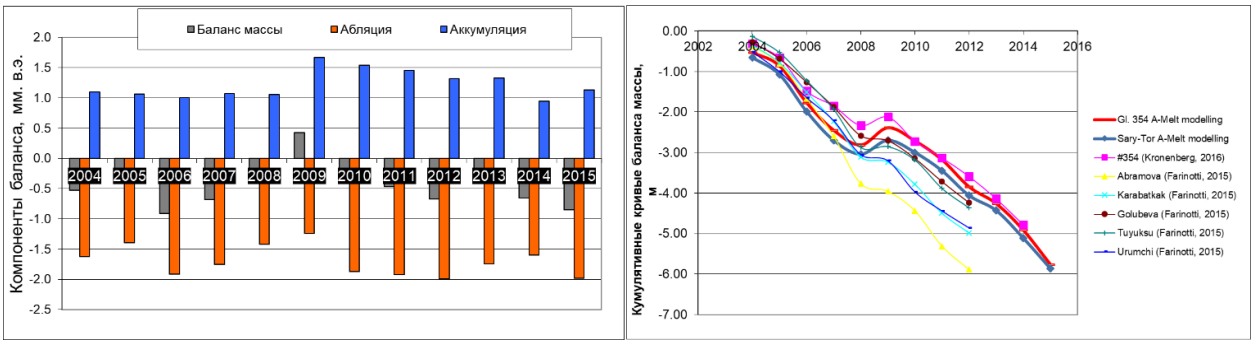


Рис. 1. Многолетний ход компонент баланса массы ледника №354 по данным моделирования (слева). Сравнение кумулятивного баланса массы ледника Сары-Тор и №354 с другими ледниками Тянь-Шаня по оценкам из литературных источников (справа) (Farinotti et al, 2015, Kronenberg et al, 2016).

Специально разработанный R-скрипт позволяет визуализировать поля компонент баланса массы расчетного ледника. По полученным результатам моделирования прослеживается тесная связь между балансом массы между ледниками №354 и Сары-Тор.

Данная взаимосвязь позволяет перенести длинный ряд наблюдений с ледника Сары-Тор на ледник №354, что актуально в контексте современных обсуждений возможности ледника №354 «приемником» гляциологических наблюдений на леднике Сары-Тор, на территории которого в ближайшую декаду будет развиваться золотодобыча согласно плану развития золотодобывающей компании «Кумтор».

Модель A-Melt также позволяет определить величину водоотдачи с поверхности ледника в каждой точке расчетной сетки в каждый временной момент. Максимальная водоотдача характерна для нижней части ледника, первых зон. С ростом высоты зон водоотдача равномерно уменьшается и в верхних зонах близка к 0.

Выводы

Реализация физико-математической модели таяния снега и льда в высокогорных бассейнах с распределенными параметрами AMelt на примере ледников Сары-Тор и №354 показывает применимость модели для восстановления значения баланса массы ледников Внутреннего Тянь-Шаня. Согласно результатам моделирования, в среднем, исследуемые ледники теряли около 0.5 м массы в водном эквиваленте (в.э.) в течение 2004-2015 гг. Колебания характеристик баланса массы на ледниках Сары-Тор и №354 достаточно синхронны и совпадают с региональными тенденциями. Результаты моделирования для ледника № 354 были сопоставлены с опубликованными исследованиями по восстановлению его баланса массы с применением концептуальных подходов к моделированию.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16-35-60042

Список литературы

Рец Е.П., Фролова Н.Л., Поповнин В.В. Моделирование таяния поверхности горного ледника // Лёд и Снег, № 4., 2011: 24–31.

Рец Е.П., Киреева М.Б., Лошакова Н.А. Использование теплобалансовой модели для исследования особенностей формирования стока ледниковой реки (на примере бассейна руч. Джанкуат) // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ), № 4., 2014.: 97-103.

Farinotti, D., Longuevergne, L., Moholdt, G., Duethmann, D., Mölg, T., Bolch, T., Vorogushyn, S., Güntner, A. Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years. // Nature Geosciences, 7 pp., DOI: 10.1038/NGEO2513

Hagg, W., Mayer, C., Lambrecht, A., Kriegel, D., Azizov, E. Glacier changes in the Big Naryn basin, Central Tian Shan // Global and Planetary Change 110, 2013: 40–50.

Kronenberg, M., Barandun, M., Hoelzle M., Huss, M., Farinotti, D., Azisov E., Usubaliev R., Gafurov, A., Petrakov, D., Kaab, A. Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014. // Annals of Glaciology 57(71), 2016: 11-23.

Petrakov, D., Shpuntova, A., Aleinikov, A., Kääb, A., Kutuzov, S., Lavrentiev, I., Stoffel, M., Tutubalina, O., Usubaliev, R. Accelerated glacier shrinkage in the ak-shyirak massif, inner tien shan, during 2003-2013. // Science of the Total Environment, 562., 2016: 364–378.

Using energy-balance snow and ice melting model AMelt to reconstruct mass balance for Inner Tian-Shan glaciers

***Rets E.P.*[1], *Petrakov D.A.*[2], *Shpuntova A.M.*[2]**
[1]*Water Problems Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*
[2]*Department of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*
retska@mail.ru

Abstract: The impossibility of covering a large number of glaciers by mass-balance observations dictates the need for developing alternative methods for estimating the balance. The energy-balance physically-based snow and ice melting model with distributed parameters AMelt was used for the reconstruction of Sary-Tor and No. 354 glaciers mass-balance, located within the Ak-Shyrak massif, the inner Tien Shan, for 2004-2015. The verification of the results showed a good reproduction of direct measurements and reduction of the glaciers surface according to remote sensing by the model.

Keywords: Glacier mass-balance modelling, physically-based energy-balance model of snow and ice melting AMelt, Sary-Tor glacier, No.354 glacier, Tian-Shan

К вопросу формирования гидрохимического стока рек полярных регионов России

***Романов С.Г.*[1], *Марков М.Л.*[2], *Потапова Т.М.*[1]**
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле*
[2]*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург*
stipan06@yandex.ru

Аннотация: Определены основные факторы, формирующих химический состав природных вод территории. Показано, что на химический состав исследуемых рек: Лена и Сев. Двина большое влияние оказывают подземное питание. Проведена оценка роли грунтового питания в формировании гидрохимического (ионного) стока исследуемых рек. Проведена оценка доли подземной составляющей при помощи метода расчленения гидрографа и расчета величины общей минерализации за многолетний период наблюдений. Установлено, что для рек Лена и Сев. Двина доля грунтовой составляющей ионного стока составляют соответственно 23% и 44%.

Ключевые слова: реки полярных регионов, гидрохимия, ионный сток, подземный сток

Введение

Основным объектом исследования является р. Лена. Река протекает в Восточной Сибири и является одним из крупнейших водотоков мира, а также крупнейшей рекой, чей бассейн полностью лежит в зоне многолетнемерзлых пород. Для расчетов использовались данные Якутского УГМС по створам как на р. Лена, так и на основных её притоках (см. табл 1). Также использовались данные экспедиций ААНИИ. (Федорова и др. 2017)

Для сравнения был взят другой крупный водосбор арктической зоны – бассейн Северной Двины. Помимо замыкающего створа Северной Двины (Усть-Пинега), был произведен анализ рек, расположенных в зоне карстующихся пород, а также рек в нормальных геологических условиях (см примечание к табл. 1). Для расчетов использовались данные Северного УГМС.

Впервые проблема связи гидрологических и гидрохимических характеристик рассмотрена в статье (Алекин, 1952), где автор привел соотношение главных ионов при разном типе питания реки.

Первостепенная роль геохимического речного стока в океаническом осадконакоплении отражена в монографии «Речной сток в океан и черты его геохимии» (Гордеев, 1983). В работе установлены кларки большинства химических элементов для рек мира, установлены нормы, пределы изменчивости и качественный состав геохимического стока для различных территорий.

Современный период исследований речного стока в полярных регионах отражен в прорывных исследованиях ААНИИ. В рамках экспедиционных исследований за период 2009 – 2017 гг. были изучены гилрологические и гидрохимические особенности дельты р. Лены с учетом важной роли подземных горизонтов в питании речной сети. (Кассенс 2009; Потапова и др. 2013). Однако, труды, по количественной оценке, подземного притока в реки, особенно для полярных регионов, крайне малочисленны. Подобную оценку для рек Северо-Запада России выполнили сотрудники ГГИ. (Коноплев и др, 2010; Боревский и Марков, 2014).

Методы и материалы

Для расчета подземной составляющей речного стока использовался метод расчленения гидрографа, изложенный в пособии (Методические рекомендации…1991). Как известно, средний расход воды в створе реки за некоторый период межени Т можно

представить в виде: $Q_{гр} = Q_w+Q_п+Q_a$ где Q_w - средний расход, сформированный за счет запасов воды в русловой сети; $Q_п$ и Q_a - средние расходы воды, обусловленные притоком подземных и дождевых вод за период Т. Нашей задачей было определить величину $Q_п$, имея данные о гидрологических наблюдениях за многолетний период.

В основе метода лежит предположение, что из многолетнего ряда наблюдений найдется определенное количество лет низкой водности, $Q_{меж} < Q_{крит}$ в которые величины Q_w и Q_a будут несоизмеримо ниже величины $Q_п$. В таком случае можно утверждать, что мы наблюдаем на изучаемом створе прохождение подземного стока в чистом виде. Для текущей работы величины $Q_{крит}$ были назначены равными величинам минимального среднемесячного стока различной обеспеченности. Для определения значений $Q_{крит}$ применялись функции обеспеченности.

Для оценки подземного стока выбранных рек также был использован метод смешения, который определяет величину грунтового стока в зависимости от гидрохимических показателей поверхностных и подземных вод. Расчет производился по формуле: $Q_{гр} = Q_р*Q_р/C_{гр}$**,** где $Q_{гр}$– величина подземного притока воды в реку, $Q_р$ – расход воды в створе, а $C_р$ и $C_{гр}$ – концентрации какого-либо вещества в поверхностных и подземных водах**.**

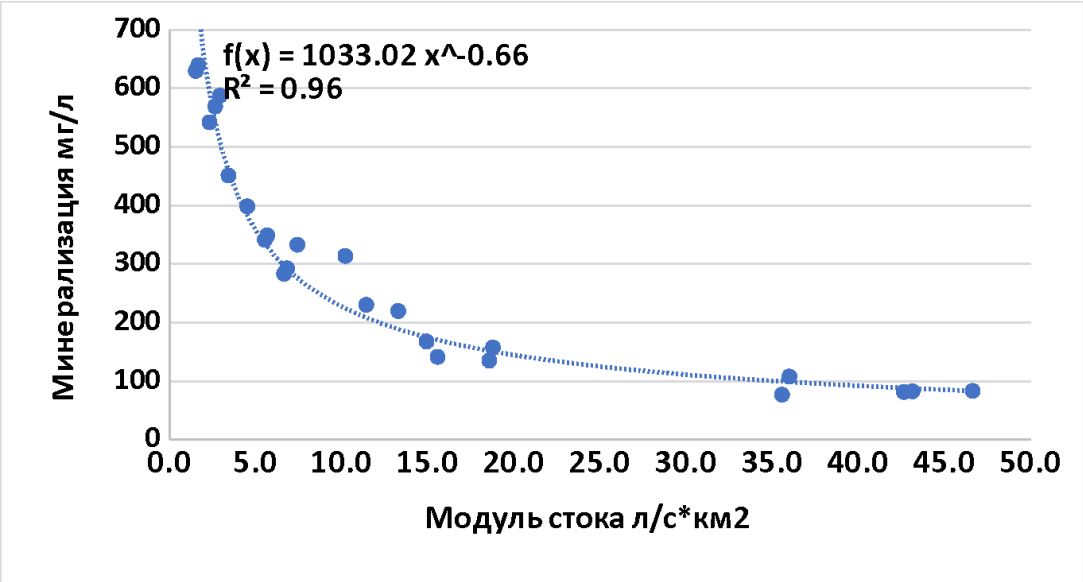


Рис. 1 – Зависимость модуля стока от минерализации по ст. Змеиново р. Лена

В качестве параметра $C_р$ бралась минерализация, соответствующая среднемноголетнему расходу по эмпирической кривой Q(M) для соответствующего створа (см. рис. 1). В качестве параметра $C_{гр}$ принималось значение минерализации, соответствующее минимальному среднемесячному расходу 50-% обеспеченности по эмпирической кривой Q(M) за рассматриваемый период. В качестве параметра $Q_р$ принимался среднемноголетний расход, который определялся по данным водного кадастра. Для наглядности величины $Q_{гр}Q_р$ относились к площади водосбора и представлены в виде модулей $M_{гр}M_р$.

В результате расчетов установлены ориентировочные значения модулей подземного питания исследуемых рек (см. табл. 1). Полученные значения сравниваются с данными, снятыми с карты естественных ресурсов подземных вод СССР

Табл. 1 Итоговая таблица расчета подземного притока

Показатель\река	Р. Лена (Кюсюр)	Р. Лена среднее течение[1]	Р. Лена верхнее течение[2]	Р. Алдан	Р. Сев. Двина (Усть-Пинега)	1 группа рек[3]	2 группа рек[4]
Модуль подземного притока* (методом расчленения гидрографа)	0,55	0,97 – 1,50	1,14 – 1,98	0,40 – 1,24	1,97	1,2 – 1,8	2,4 – 4,2
Модуль подземного притока (методом смешения)	2,42	2,35 – 2,76	2,66 – 3,20	3,21 – 4,88	3,80	3,3 - 4,6	3,0 – 6,4
Модуль подземного притока (По карте Естественных ресурсов подземных вод СССР)	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	1,0 – 3,0	1,0 - 3,0	2 – 3	1,4 – 2,8	1,8 – 5,0
Коэффициент подземного питания** (методом расчленения гидрографа)	0,08	0,12 – 0,16	0,24 – 0,25	0,05 – 0,12	0,21	0,13 - 0,21	0,29 – 0,46
Коэффициент подземного питания (методом смешения)	0,35	0,25 – 0,33	0,40 – 0,51	0,31 – 0,46	0,44	0,37 – 0,49	0,35 – 0,55
Коэффициент подземного питания (По карте Естественных ресурсов подземных вод СССР)	Менее 0,1	0,1 – 0,2	0,3 – 0,5	0,1 – 0,3	0,2 – 0,3	0,1 – 0,2	0,1 – 0,4

*Примечание: *Модули подземного притока указаны в л/с*км^2; **коэффициенты подземного питания отражают долю подземного питания в речном стоке и являются безразмерной величиной; 1 – створы Табага, Солянка, Змеиново; 2 - створы Крестовское, Усть-Кут, Качуг; 3 - Реки бассейна Сев. Двины (Вага, Евда, Устья, Вель); 4 - Реки карстовых массивов бассейна Сев. Двины (Емца, Ваеньга, Ваймуга, Мехреньга).*

Результаты

Для бассейна р. Лены модули установленные по методу смешения дают правдоподобные результаты только для створов в верховье р. Лены (2,7 – 3,2 л/км^2*с), для всех остальных данные получаются сильно завышенными. Наиболее достоверные данные получены по методу расчленения гидрографа (по 50%-ным расходам). В верховье р. Лены значения варьируют от 2,4 до 4,2 л/км^2*с, для створов в среднем течении р. Лены – от 0,9 до 1,5 л/км^2*с, на р. Алдан значения несколько ниже литературных - от 0,4 до 1,2 л/км^2*с.

Для бассейна Сев. Двины модули установленные по методу смешения дают сильно завышенные результаты для рек 1 группы (3,3 – 4,6 л/км^2*с) и несколько завышенные для рек 2 группы (3,0 – 6,4 л/км^2*с). Также наиболее достоверные данные получены по методу расчленения гидрографа.

Для «карстовых» рек значения варьируют от 2,4 до 4,2 л/км^2*с, для рек, на водосборе которых карст не выражен, модуль стока изменяется от 1,2 до 1,8 л/км^2*с. Расчет по 95%-ным расходам дает сильно заниженные результаты для всех исследуемых створов.

Выводы

По выявленным зависимостям Q(M) и известным значениям среднемноголетнего и минимального среднемесячного расходов воды, установлены соответствующие характерные значения средней минерализации. На основе рассчитанных значений минерализации установлены показатели ионного стока по замыкающим створам исследуемых рек. Показатель модуля ионного стока Северной Двины составляет - 22,9, реки Лены - 54,8 тонн/км^2 в год. Установлены ориентировочные значения гидрохимического стока подземного происхождения. Для р. Лена он составил и 5,2 тонн/км^2 в год (23% от общего). Для р. Сев. Двины удельный гидрохимический сток и доля подземного стока в нем оказались выше и составили и 23,9 тонн/км^2 в год и 44% соответственно.

Список литературы

Алекин О.А. К изучению количественной зависимости между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек СССР. Труды ГГИ, 1950, вып. 25. Стр 25-29

Боревский Б.В, Марков М.Л. «Является ли меженный расход рек мерой питания подземных вод или общего подземного стока?» // Разведка и охрана недр. №5 , 2014, стр. 10-16

Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии М.: Наука 1983. 160 с.

Государственный водный кадастр: гидрологические ежегодники Северного и Якутского УГМС 1949-1969 гг.

Карта естественных ресурсов подземных вод СССР (подземного стока зоны интенсивного водообмена). Масштаб 1:7 500 000. Главное управление геодезии и картографии СССР. М., 1982.

Методические рекомендации по оценке подземного притока в реки. Л., Гидрометеоиздат. 1991 – 96

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индигирский район.– Л., Гидрометеоиздат, 1967 - 649 с

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный Край. .– Л., Гидрометеоиздат, 1972 - 512 с

Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены. Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. Под ред. Х. Кассенс. М.: МГУ, 2009, с. 278-292.

Потапова Т.М., Четверова А.А., Федорова И.В. «Геохимические особенности современного состояния дельты р.Лены» // В сб: Проблемы Арктики и Антарктики, СПб, 2013, с.120-134

Федорова И.В., Четверова А.А., Алексеева Н.К. Гидрологические и Гидрохимические исследования в дельте р. Лены весной 2015 и 2016 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики №3(113), СПб, 2017, с.107-114

Konoplev A., Semenova I Assessment of the present and perspective contaminants wash-off the watersheds of Russian rivers to the Arctic Ocean. // Proceedings of the International Polar Year Oslo Science Conference, Oslo, 8-12 June 2010.

To the question of hydrochemical flow formation of rivers in the polar regions of Russia

***Romanov S.G.*[1], *Markov M.L.*[2], *Potapova T.M.*[1]**
[1]*St Petersburg State University, Institute of Earth sciences, St Petersburg*
[2]*State Hydrological Institute, St Petersburg*
stipan06@yandex.ru

Abstract: Based on the generalization of cadastral and expedition data, the main factors forming the chemical composition of the natural waters of the territory are identified. It is shown that the chemical composition of the studied rivers: The Lena and North. Dvina is greatly influenced by underground waters. The evaluation of the role of ground water in the formation of hydrochemical (ion) runoff is appreciated. On the base of hydrographs and total mineralization the part of underground runoff is estimated. It was found that for rivers Lena and North.Dvina the part of the ground ionic runoff is respectively 23 and 44%.

Keywords: arctic rivers, hydrochemistry, ionic runoff, underground runoff

Четковидные русла рек – «горячие точки» криолитозоны

Тарбеева А.М. [1], **Арп К.Д.** [2], **Ефремов В.С.** [3], **Крыленко И.В.** [1], **Лебедева Л.С.** [3]
[1] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
[2] *Университет Аляска Фэрбенкс, Фэрбенкс, США*
[3] *Институт Мерзлотоведения им. П.И. Мельникова, Якутск, Россия*
amtarbeeva@yandex.ru

Аннотация: Четковидные русла, характеризующиеся чередованием озеровидных расширений и соединяющих их узких проток, являются широко распространенным типом русел малых рек начальных порядков в криолитозоне. Однако механизмы формирования этих русел до сих пор окончательно не ясны. Между тем, эти русла имеют большое экологическое значение, являясь местами питания и зимовки многих водных организмов в холодных регионах. С целью установления характера процессов, происходящих в четковидных руслах, и раскрытия механизмов их формирования были проведены наблюдения за термическим режимом русла и окружающих грунтов на реке Шестаковке в Центральной Якутии в таежной части сплошной криолитозоны и малом ручье Блэкфиш в арктической тундре на Северном склоне Аляски.

Исследования в верховьях р. Шестаковки показали, что зимой в глубоких плесах приуроченных к расширениям русел сохраняются изолированные резервуары напорной воды мощностью до 2-3 м, подстилаемые линзами талых пород мощностью до 4 м. Мелководные сужения русла промерзают до дна, мощность льда в них достигает 0,5-0,6 м. Температуры горных пород под руслом на 14°С выше, чем на тех же глубинах в пределах поймы. Среднегодовая придонная температура воды в озеровидном расширении русла составила +1,9°С, максимальная достигала +12°С, тогда как среднегодовая температура воздуха составила –7°С.

Наблюдения на ручье Блэкфиш на Аляске показали, что расширения его русла еще теплее: среднегодовые придонные температуры составляют +2,9°С при более низких (–10,7°С) температурах воздуха. На реках тундры дополнительное отепляющее влияние на русла оказывает снежный покров, который за счет ветрового переноса образует более мощный слой в узких и глубоко врезанных долинах малых рек.

Положительные температуры в расширениях четковидных русел свидетельствуют о возможности развития термокарста, однако русло Шестаковки формируется в малольдистых отложениях. Это позволяет предположить, что в формировании расширений русла Шестаковки главную роль играет неравномерный размыв русла во время половодья, однако не исключает развитие термокарста на других четковидных реках криолитозоны, в частности, на Аляске.

Ключевые слова: Четковидные русла, многолетняя мерзлота, термический режим, малые реки, термокарст, подрусловые талики

Введение

Четковидные русла – особый морфологический тип русел малых рек криолитозоны, пока не нашедший отражения в отечественных классификациях речных русел. Они состоят из чередующихся по длине глубоких озеровидных расширений и соединяющих узких проток, потому напоминают четки или бусы. Четковидные русла весьма широко распространены в криолитозоне. Они наблюдаются в Большеземельской тундре, на Ямале, Северо-Сибирской низменности, в Центральной Якутия, на равнинах Чукотки, а наибольшую плотность они имеют на Прибрежной Арктической равнине Аляски, где они занимают до 50% длины всей речной сети (Arp et al., 2015). Наибольшее развитие такие

русла имеют на водотоках 1-3 порядков, формирующихся в пределах равнин и возвышенностей, сложенных рыхлыми породами. Исследования, проведенные как в России (Губарьков и Лейбман, 2009; Тарбеева, Крыленко и др., 2016), так и на Аляске (Oswood et al., 1998; Arp et al., 2015), показывают, что четковидные русла за счет своей необычной формы регулируют сток воды и играют важную роль в экосистемах холодных регионов, являясь важными местами для зимовки и питания разных видов водных и околоводных организмов, включая рыб, лягушек и беспозвоночных. Чтобы более детально понять термический и гидрологический режимы четковидных русел и процессы, влияющие на их формирование, мы провели термические наблюдения на двух малых четковидных реках – в Центральной Якутии в таежной части криолитозоны и на северном склоне Аляски в арктической тундре.

Объекты исследований и состав работ

Ключевым объектом наблюдений в Центральной Якутии является р. Шестаковка – левый приток р. Лены в 20 км к югу от г. Якутска. Территория характеризуется резко континентальным климатом с морозной (средняя температура января –36,8°С) зимой и жарким (средняя температура июля +19,6°С) летом, небольшим (238 мм) годовым количеством осадков (данные по метеостанции Якутск). Многолетнемерзлые породы имеют сплошной характер, их мощность достигает 500 м, а температура на подошве нулевых годовых амплитуд около –3°С. Деятельный слой составляет 0,5–3 м. Для склонов долин характерны несквозные субаэральные талики, мощностью 1-3 м, часто являющиеся источниками питания наледей (Шепелев, 2011). Снежный покров относительно маломощный 30-50 см.

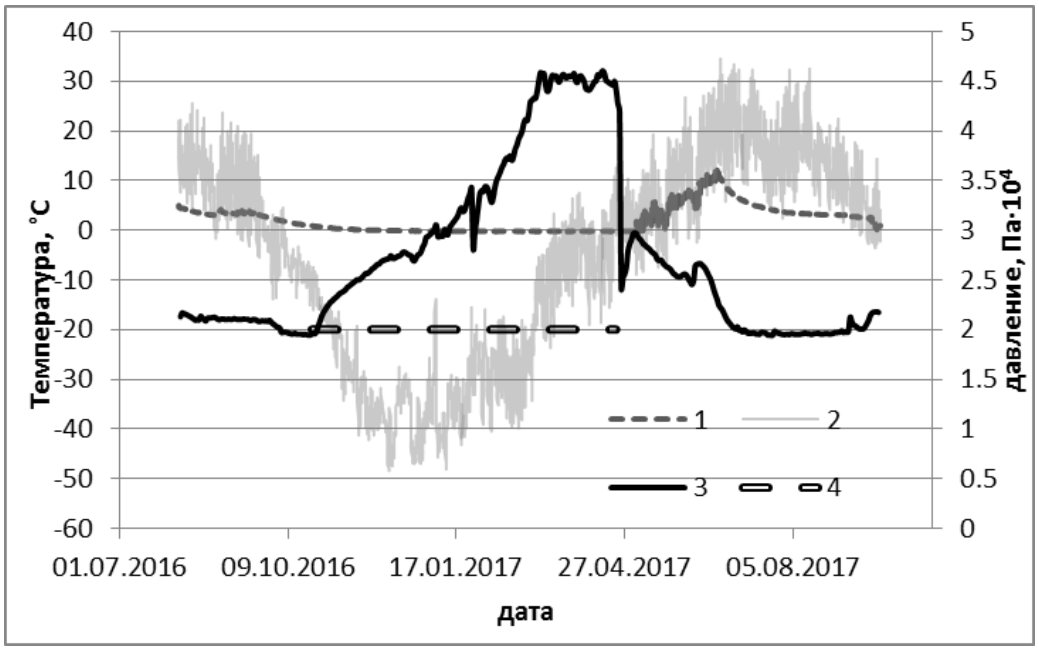
Ключевой водосбор располагается на высокой песчаной террасе р.Лены, модифицированной эоловыми процессами и подстилаемой мерзлыми породами с невысокой льдистостью. На водосборе преобладают сосновые и лиственничные леса. На исследованном ключевом участке р. Шестаковка имеет 1 порядок, площадь водосбора 90 км^2.

Русло реки состоит из расширений диаметром 10-15 м и глубиной 2-3 м, и сужений шириной 1-3 м, глубиной 0,5-1 м. Русло сложено средне-мелкозернистыми песками, местами зарастает водной растительностью или завалено упавшими деревьями. Для гидрологического режима реки характерно высокое половодье, вызванное снеготаянием. Максимальные расходы половодья в 2017 году составили около 1 м^3/с, меженные – от 0 до 0,5 м^3/с. Половодье 2017 года было примерно в 1,5 раза ниже среднего.

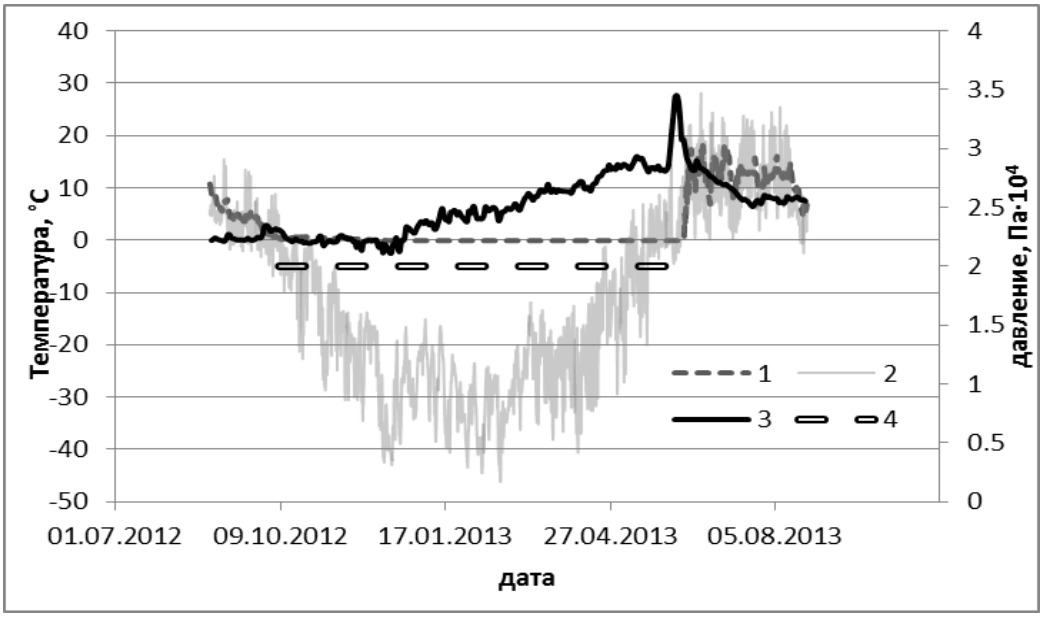
В 2016-2017 гг. на ключевом участке как в самом четковидном русле реки, так и подстилающих и окружающих горных породах реки были проведены термические наблюдения, для чего были пробурены 2 скважины: на пойме и в расширении русла, глубинами 20 и 10 м соответственно. Скважины были оборудованы термокосами с термисторными датчиками (точность измерений 0,5°С), расположенными через каждые 0,5 м до глубины 5 м и ниже – через каждый метр. Для выявления термического режима придонного слоя воды на дно расширения русла на глубине около 2 м был установлен автономный самописец давления и температуры Keller DCX-18 eco, который оставался на месте круглогодично и вынимался только для считывания данных. Давление воды в период открытого русла характеризует уровень воды от поверхности дна (приближенно, с учетом плотности воды 1000 кг/м^3 и ускорением свободного падения 10 м/с^2), а в период ледостава отражает криостатический напор, возникающий в русле при его промерзании.

Для описания геологического строения русла и определения мощности речного льда проводилось бурение серии неглубоких скважин. Ниже ключевого участка проводились изменения уровней и расходов воды в период открытого русла. Дополнительно

проводилась фиксация состояния русла автоматическими фотокамерами, с целью сопоставления термических данных с процессами образования и разрушения льда в русле. В 2,5 км от ключевого участка на междуречье была установлена автоматическая метеостанция, записывающая, в том числе температуры и давления воздуха. Данные об изменении атмосферного давления использовались для корректировки данных давления воды.



А)



Б)

Рис.1 Совмещенные графики годового хода придонных температур и давления воды в расширениях русел и температур воздуха: А) реки Шестаковки в Центральной Якутии (2016–2017 гг.); Б) - ручья Блэкфиш на Аляске (2012-2013 гг.): 1 – температура воды в придонном слое; 2 – температура атмосферного воздуха; 3 – давление воды на дне (примерно соответствует уровню воды в м в период открытого русла); 4 – период ледостава.

Ключевой объект исследований на северном склоне Аляски – ручей Блэкфиш, правый приток р. Фиш-крик расположен на побережье моря Бофорта в зоне арктической тундры. Климат территории морской арктический с прохладным летом (средняя температура июля

4,9°C) и продолжительной (9 месяцев) холодной зимой (средняя температура февраля – 25,2°C), малым количеством осадков (115 мм, данные по метеостанции Барроу). Снежный покров маломощный (20-40 см), но существенно перераспределяется ветровой деятельностью (Benson, Sturm, 1993). Водосбор расположен на плоской низменной аллювиально-морской преимущественно песчаной равнине с отметками до 10 м абс. Значительную часть его площади занимают котловины спущенных термокарстовых озер (хасыреи) и остаточные термокарстовые озера. Многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение, мощность около 200-300 м, температура на подошве нулевых годовых амплитуд около –9°C (Jorgenson et al., 2009). В пределах водосбора широко развиты полигонально-жильные льды.

Ручей Блэкфиш имеет площадь водосбора 22,9 км^2 и является водотоком 1 порядка, вытекает из остаточного озера в днище хасырея и дренирует на своем пути серию аналогичных хасыреев. Русло ручья характеризуется хорошо выраженным четковидным строением с чередованием озеровидных округлых или слегка удлиненных расширений диаметром 10-25 м и коротких 2-15 м соединяющих проток шириной от 1 до 5 м и глубиной около 0,5 м. Средние меженные летние расходы воды за период наблюдений (2009-2016 гг.), составили 1-16 л/с, средние из максимальных – 1,8 м^3/с. На дне одного из крупных расширений русла, диаметром около 20 м и глубиной около 2,5 м, на период 2012-2013 был установлен регистратор давления и температуры воды (Onset U20-001-01). В апреле 2013 года было проведено бурение одного из соседних расширений русла. Данные о температурах воздуха и атмосферном давлении получены с автоматической метеостанции, установленной в 6,5 км восточнее ручья.

Полученные с самописцев данные были перенесены в программу Ecxel, сопоставлены и проанализированы с учетом данных повторного фотографирования русла. Данные в графическом виде приведены на рисунке.

Результаты наблюдений

Полевые обследования реки Шестаковки показали, что в период половодья уровни воды поднимаются на примерно на 1 м, при этом вода в расширениях русла хорошо перемешивается и ее температура по всей толще различается несущественно и достигает +12°C. В летний период русло представляет собой цепочку озер, соединенных узкими протоками со слабым водотоком, расходы которого составляют 5-15 л/с. Озера хорошо прогреваются, но стратифицируются, их поверхностные температуры достигают +16°C, придонные составляют около 3,5-4°C.

В осенний период температура воды понижается, формируется ледостав. Когда ледовый покров полностью перекрывает русло, давление подо льдом начинает расти за счет промерзания отложений вблизи русла. Одновременно начинается образование наледей за счет выжимания воды из берегов при промерзании деятельного слоя на пойме.

В период максимального промерзания (в апреле) четкообразное русло представляет собой цепочку ледовых холмов, расположенных на месте расширений русла, и содержащих линзы напорной воды, подстилаемые талыми породами. Криостатическое давление в центрах ледовых бугров – расширений русла – достигает 4,5 Па·10^4, что примерно соответствует давлению столба воды высотой 4,5 м. При этом, меженная глубина русла в мессе установки датчика около 2 м. Сужения русла промерзают до дна и заполнены льдом мощностью 0,4-0,6 м. Мощность талых отложений под наиболее крупными расширениями составляет от 1,3 до 3 м, тогда как сужения русла полностью перемерзают.

Периодически ледовые бугры растрескиваются, что отражается в резких падениях давления воды и приводит к излиянию воды и образованию наледей. Окончательно

давление в центре ледяного бугра падает в конце апреля при переходе температур воздуха через 0°С. Во время половодья уровни воды поднимаются на высоту до 1 м, но главным образом, за счет того, что большая часть живого сечения русла занята льдом и основная волна половодья проходит поверх ледового покрова.

Среднегодовая придонная температура в озеровидном расширении русла за 2016-2017 г. составила +1,9°С, тогда как среднегодовая температура воздуха составила –7°С. При этом температуры грунта непосредственно под руслом (+2,4°С) в период его наибольшего промерзания в конце апреля-начале мая на 14 градусов выше, чем на той же глубине в пределах окружающей поймы (-11,7°С).

Ручей Блэкфиш в летнюю межень также распадается на ряд слабопроточных хорошо прогревающихся водоемов. На ручье Блэкфиш летние температуры придонного слоя воды достигают +16 °С, то есть выше, чем на р. Шестаковке в Якутии. Зимой четковидные расширения русел также не перемерзают, в них сохраняются линзы воды мощностью около 1 м с температурой около 0°С, подстилаемые талыми породами мощностью до 1,5 м. Криостатическое давление в озеровидных расширениях при этом достигает 2,7 Па·10^4, что соответствует давлению столба воды высотой 2,7 м (при меженной глубине установки датчика около 2 м), что ниже, чем в Якутии и не приводит к образованию выраженных ледовых бугров. Сужения русла промерзают. Русловой врез при этом заполнен снегом мощностью более 1 м. В начале половодья датчик фиксирует рост давления, что связано с подъемом уровней воды. Так же, как и на Шестаковке, значительная часть стока половодья проходит поверх ледового покрова, после вскрытия лед быстро, в течение 2-5 суток, тает.

Среднегодовые температуры придонной воды в озеровидном расширении ручья Блэкфиш составили +2,9°С при среднегодовой температуре воздуха –10,7°С.

Обсуждение результатов

Приведенные термические измерения выполнены в двух отдельно взятых плёсах и в разные годы. Однако незамерзшая вода и талые отложения в расширениях русел были обнаружены бурением в конце зимы в 7 из 9 расширений русла р. Шестаковки (Тарбеева и др., 2016) и в 11 из 12 пробуренных расширений различных четковидных русел рек на Аляске (Arp et all., 2015). Это позволяет предполагать, что наличие зимой в русле чередующихся изолированных емкостей с напорной водой и таликом, своеобразных "тепловых очагов", является специфической чертой четковидных рек области многолетней мерзлоты.

Высокие значения температуры воды в придонных слоях объясняются морфологией русла – в широких плёсах вода застаивается и хорошо прогревается в летний период, а благодаря большой глубине русло полностью не промерзает зимой. Кроме того, в тундре отепляющее влияние оказывает снежный покров, который за счет ветрового переноса образует более мощный слой в узких и глубоко врезанных долинах малых рек. Это приводит к снижению средней мощности льда в русле по сравнению с более крупными реками той же территории примерно в 1,5 раза. Так средняя глубина льда на больших неперемерзающих реках Аляски составляет 1,7 м (Best et al., 2005), тогда как в четковидных руслах она составляет всего около 1 м. Отчасти этому способствуют сильно закустаренные берега, увеличивающие пористость снежного покрова.

Высокие температуры в расширениях русел четковидных рек приводят к образованию локальных подрусловых таликов, способствуя развитию в русле термокарста и создавая условия для его неравномерного размыва. Однако исследования показали, что отложения под руслом Шестаковки малольдистые (весовая льдистость составляет 15-20%). Это

позволяет предположить, что в формировании расширений ее русла главную роль играет неравномерный размыв русла во время половодья. Однако, это не исключает развитие термокарста на других четковидных реках криолитозоны, в частности, на Аляске.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проекты 17-05-01287 и 17-05-00217) и Bureau of Land Management Arctic District Office (К.Д. Арп).

Список литературы

Губарьков А. А., Лейбман М. О. Четкообразные русловые формы в долинах малых рек на Центральном Ямале – результат парагенезиса криогенных и гидрологических процессов // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. № 1. С. 41-49.

Тарбеева А.М., Крыленко И.В., Лебедева Л.С., Ефремов В.С., Шамов В.В. Зимние процессы в четковидном русле р. Шестаковки (Центральная Якутия) и их экологическое значение // Тр. V Всерос. конф. «Ледовые и термические процессы на водных объектах России». М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. С. 410–416.

Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск: Академ. Изд-во «ГЕО», 2011. 169 с.

Arp C. D., Whitman M., Jones B., Grosse G., Gaglioti B., Heim K. Distribution and biophysical processes of beaded streams in Arctic permafrost landscapes // Biogeosciences. № 12 (1). 2015.

Benson, C. S. & Sturm, M., 1993. Structure and wind transport of seasonal snow on the Arctic slope of Alaska. Annals of Glaciology, 18, 261-267.

Best H., McNamara J. P. Liberty L. Association of Ice and River Channel Morphology Determined Using Ground-penetrating Radar in the Kuparuk River, Alaska // Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 37, No. 2, 2005, pp. 157–162.

Jorgenson, M. T., Romanovsky, V., Yoshikawa, K., Kanevskiy, M., Shur, Y., Marchenko, S., Brown, J., and Jones, B. «Permafrost characteristics of Alaska—A new permafrost map of Alaska» in: Ninth International Conference on Permafrost. Fairbanks, Alaska: International Permafrost Association. 2008.

Oswood M. W., Everett K. R., Schell D. M. Some physical and chemical characteristics of an arctic beaded stream // Holarctic ecology. N 12. Copenhagen, 1989. PP. 290-295.

Beaded river channels as “hot points” of permafrost

Tarbeeva A.M. [1], ***Arp C.D.*** [2], ***Efremov V.S.*** [3], ***Krylenko I.V.*** [1], ***Lebedeva L.S.*** [3]
[1] *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*
[2] *University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, USA*
[3] *Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*
amtarbeeva@yandex.ru

Abstract: Beaded streams, characterized by prominent alternation of lake-like pools connected by narrow runs, are typical first order watercourses in permafrost regions. However, their formative mechanisms are still not completely clear. Meanwhile, these streams have great ecological significance, providing feeding and overwintering habitats for many aquatic organisms in cold regions. In order to establish the processes in the beaded channels and to discover their formative mechanisms, we conducted observations of thermal regime of the channel and surrounding floodplain on the Shestakovka River in Central Yakutia in the permafrost taiga and on Blackfish Creek on the North slope of Alaska in the arctic tundra.

The channel of Upper Shestakovka River in winter consist of isolated reservoirs of pressurized water (2-3 m depth), underlayed by lenses of thawed sediments (taliks) up to 4 m depth, remain in the deep reaches associated with the channel extensions. The runs are frozen to the bottom, the ice thickness in them reaches 0,5-0,6 m. The temperature of sediments under the channel bed is 14°C higher than at the same depths under the floodplain. The average annual water temperature on the channel bed in the pools was +1,9°C, the maximum reached +12°C, while the average annual air temperature was –7°C.

Observations on the Blackfish Creek in Alaska have shown that the its pools are even warmer: the average annual bed temperature is + 2,9°C at lower (-10.7 °C) air temperatures. The additional heating effect on the channel on tundra rivers, is provided by snow cover, which is thicker due to wind drift accumulation in the narrow and deeply incised channels of small rivers.

Positive temperatures in the beaded pools indicate the possibility of thermokarst developing. However, the Shestakovka channel is formed in low ice content sediments. This suggests that the main role in the formation of the Shestakovka pools play uneven erosion during the flood, which does not exclude the development of thermokarst in other channels in permafrost regions, in particular in Alaska.

Keywords: Beaded streams, permafrost, thermal regime, small rivers, thermokarst, river taliks

Automated glacier mapping with sentinel data for regions with widespread debris cover

Telegina A.A.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
ITC «SCANEX»
Annatelegina29@yandex.ru

Abstract: This study investigates the application of Object-Based Image Analysis (OBIA) for glaciers delineating with focus on the debris covered glaciers in the central Himalayas. OBIA were based on a combination of Sentinel-1 SAR coherence data, topographic data, and recently opened for free excess 10 m resolution Sentinel-2 optical data. The results of automated classification were compared with manually correct outlines, and the average accuracy composed 93, 5%.

Keywords: debris-covered glacier, Object-based image analysis, SAR coherence, Sentinel, Himalayas

Introduction

The Himalayas is a diverse region with highly complicated morphology and system of gradually changing from east to west local climate and meteorological conditions. The accelerated rate of rising in global temperature makes glaciers of this region an essential indicator of its change (Houghton et al., 2001) and a tool for future planning of water resources management and monitoring of hazardous events. To fully understand this process of climate-glaciers interaction, the supraglacial debris interferes greatly, which, first, influences differently on the respond to temperature changes of the underneath glacier, and, secondly, complicates glacier delineation with optical imagery making surface spectrally similar to surrounding ground.

What concerns the second problem, a solution can be in using auxiliary data, such as slope or curvature derived from DEM and thermal band, aimed at tracing drops in temperature (Paul et al., 2004; Shukla et al., 2010; Bhardwaj et al., 2014). However, obtaining of up-to-date high-resolution DEM in the case of such extensive and remote regions as the Himalayas can be a cost demanding task for investigators. Moreover, thickness of the debris-cover in this region generally exceeds a threshold of values that provide representative thermal information about underlying glacier.

One of the last promising methods for delineation of glaciers covered with debris takes into account the movement of glacier under its own weight. In this work, the using of such nonoptical data as Synthetic Aperture Radar (SAR) coherence data is considered (Frey et al., 2012).

Despite a few investigations dedicated to glaciers mapping of the Himalayas, this region experiences lack of monitoring due to a rare net of ground observations and relatively small total coverage of studying areas. That is why the focus of this thesis is addressed to applying of OBIA to the clean and debris-covered ice classification, OBIA, which, providing opportunity to use multiple sources of information, optimizes the analysis of such complex natural object as mountain glaciers. Therefore, focusing on the debris covered glaciers in central Himalayas, this study investigates the application of Object-Based Image Analysis (OBIA) for glaciers delineating. OBIA were based on a combination of SAR coherence data, topographic data, and recently opened for free excess 10 m resolution Sentinel-2 optical data.

Study area

The study area, called Langtang, includes a mountain range at the border of Tibet and Central Nepal. The Nepalese part of the area covers the southern part of the region and corresponds to Langtang National Park boundaries. The Langtang region covers about 3,000 km^2 in total with allocated there 390 glaciers covering 770 km^2 area at elevations from 3700 m a.s.l. to over 7900 m a.s.l. The largest glacier of this region, and the whole study area in general, is the Langtang glacier (GLIMS ID: G085670E28312N) with a total area of 45.2 km2 in 2016 (according to classification) and a total length of about 18 km. Tibetan section extends to the

North-North-West and covers the rest part of the range. It contains other seven largest glaciers with an area of about 20 km^2 and larger: Xiebupu (22.2 km^2; G085801E28372N), Yebokangjiale (24.1 km^2; G085751E28386N), Kangjiaruo (35.2 km^2; G085694E28431N), Purepu (25.4 km^2; G085645E28407N), Lalaga (21.6 km^2; G085572E28472N), Gangpengqing (20.9 km^2; G085544E28538N), and Dudang (18.2 km^2; G085427E28608N) from the South to the North respectively. The first three of them are situated at the north-east slope of the range facing Tibetan Plateau. The last four plus the above mentioned Langtang glacier belong to the south-west slope meeting each summer humid monsoon air masses and therefore accumulating high concentrations of sediments.

Data for OBIA operation

Sentinel-2A Level 1C data were used for optical imagery analysis. Looking for image with the less amount of the seasonal snow patches, 2 November of 2016 were chosen among different scenes for October and the beginning of November (sensing time is 5 8' 22" in UTC time). Spatial resolution of this product corresponded to the considered bands (RED, BLUE, GREEN, NIR, SWIR) is 10 meters. Product is composed of 100x100 km^2 tiles (ortho-images in UTM/WGS84 projection).

As digital elevation model, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global elevation data product were used that provides a worldwide coverage of void filled data at a 1 arc-second (30 meters) resolution. Particularly, retrieved with ArcGIS "solar radiation" tool information about slope was used from it for OBIA analysis.

Also, for coherence estimation, time-series from synthetic aperture radar (SAR) sensor type of Sentinel-1A platform was used in this study (Interferometric wide swath mode, IW). The major advantages of this product are its high temporal resolution and free access to up-to-date information. SAR sensor types acquire in C-band (centre frequency of 5.405 GHz), and images are both single and dual polarized SAR data (VV+VH). Sar coherence data were generated with using the open source software SNAP (Sentinel-1 toolbox) distributed by ESA.

Level-1 Single Look Complex (SLC) product was used which consists of focused SAR data, geo-referenced using orbit and attitude data from the satellite and provided in slant-range geometry. For IW mode, pixel spacing is 2,4x14.1 m, and resolution is 2.6x22 m to 3.5x22m from lowest to highest incidence angle (Sentinel.esa.int, 2017).

As an additional data set, GLIMS inventory shapefile were used for dividing classified glaciers to separate catchments and retrieving of standardized ID numbers. GLIMS project, bringing together the resources of universities and research institutes from 27 countries, provides its database freely available through a map-based website interface accessible at http://www.glims.org.

Method

For the OBIA classification, Trimble eCognition 9.0 software was used for processing the optical, topographic, and SAR coherence data. Advantage of using the SAR coherence as an auxiliary dataset for debris-covered ice detection were demonstrated by Robson et al. (2015). In their research, they showed that it increases the total accuracy of the OBIA classification by 12% to compare with the one based solely on the two first types of data.

Before a processing of input data, a few additional derivates of the original datasets were calculated in the eCognition programme for further analysis. First, commonly used band ratios and indices such as NDVI, NDSI, NDWI, and SWIR/NIR needed both for segmentation and classification were generated from optical bands. Secondly, from the slope layer generated in ArcGIS, the edge layer was created in the Process Tree with the edge extraction canny algorithm. Along with the slope information, it is an important characteristic for the objects' boundaries determining, especially what concerns debris-covered glaciers where optical bands ratios are not efficient.

Whole procedure, besides initial data processing, can be divided into 4 mains steps: segmentation (1), rule-based classification (2), filtering and cleaning up (3), and manual correction (4).

1. Two major layers sets were used for the segmentation with an application of the multi-resolution algorithm in eCognition: one for the classification of the clean ice and water (where the optical signature is dominant in detection) and another for the debris-covered ice classification (where importance of the topology and SAR coherence prevail). According to this specification, different weights and scale parameters were assigned.
2. There were two types of the thresholds and parameters inside the workflow of classification: custom ones such as SWIR/NIR ratio, NDVI, and slope acquired from the literature (Paul, Bolch et al., 2013; Robson, 2015), and ones obtained through trial and error. As one class comprises a few thresholds, fuzzy logic was used to make classification more flexible. Furthermore, additional weights were assigned to some tested factors highlighting the significance of the particular rule sets.

The classification procedure was run hierarchically from the easiest to the most difficult: from the water objects extraction to the clean ice classification and, at the end, to debris-covered ice retrieving. In this respect, Lakes and the clean ice were delineated at the level 2 segmentation using the NDWI and NIR/SWIR ratio indices respectively with additional slope thresholds and then masked out the scene. For the debris-covered ice classification, the level 3 segmentation was applied to all the rest unclassified objects beforehand. Except SAR coherence and slope thresholds, NDVI that marks vegetation growth and NDSI for dirty ice patches detection were applied.

After the assignment of the described major classes, two specific cases were considered and reclassified: lake ice which initially was incorrectly referred to the clean ice class of glaciers and supraglacial lake which should be included to the debris-covered ice class.

3. The classified segments were merged for all three classes, and generated objects were filtered by area to remove too small elements. Besides, delineated debris-covered patterns with distance more than 2 000 m from clean ice glaciers were also removed. The next step was expanding boundaries of the final objects into the neighbouring ones with similar spectral, topographic or SAR coherence characteristics. Additional threshold of length/width ratio equal 50 was applied for debris-covered ice class to filter extremely long and thin segments corresponded to some rivers floodplains linked to glaciers by mistake. The two final steps were pixel-based smoothing of each class objects and their exporting to shapefile format.
4. After exporting of the obtained outlines for each class, manual correction had been accomplished within an ArcGIS. For these purposes, the same as in the automated classification datasets had been used (picture 1).

Results

In the result, it was classified 614.2 km^2 of objects assigned to the clean ice class and 158.5 km^2 objects defined as the debris-covered ice. The total area comprises 772.7 km^2 and corresponds to 394 glaciers (According to GLIMS ID numbers) of the Langtang region. 20% from the total number of the glaciers are presented by ones containing debris-covered segments (it composes up to 70% of all area). Therefore, debris-free glaciers are generally small ones that, due to being relatively low-mass, do not obtain enough erosion capacity to produce a lot of sediments. Overall, glaciers with size less than 1 km^2 are in the majority (65%), while the glaciers of 1-10 km^2 extent and larger make up 30% and 5% respectively. Additionally, debris-covered tongues of glaciers prevail to the south-south-west from the main range. At Tibetan plateau (north-east from it), debris-covered segments are fewer and they are not so elongated, but large lakes take place instead.

Accuracy was estimated with comparison of OBIA result delineation and its manually corrected version which was taken as a “true” dataset. Considering false positive (objects mapped as glacier ice that in actuality were not, e.g. because of seasonal snow, see picture 1) and false negative (glacier ice that was not mapped, e.g. because of shadows? See picture 1) types of errors, a confusion matrix was computed, and, therefore both user’s and producer’s accuracies were calculated. They appeared to be quite similar and composed, in average, 94.3 % and 96.3 %. The Kappa index higher than 0.8 shows that the classification results are reliable and did not

caused by chance. The average accuracy (calculated through the root-mean-square deviation) of debris-covered glaciers mapping is obviously lower than the clean ice delineation accuracy and equals 93.6%. It caused by the still left (even with use of the SAR data) problematic areas where distortions take place due to such effects as shadowing or layover or motions of surface which caused by other objects rather than flowing ice.

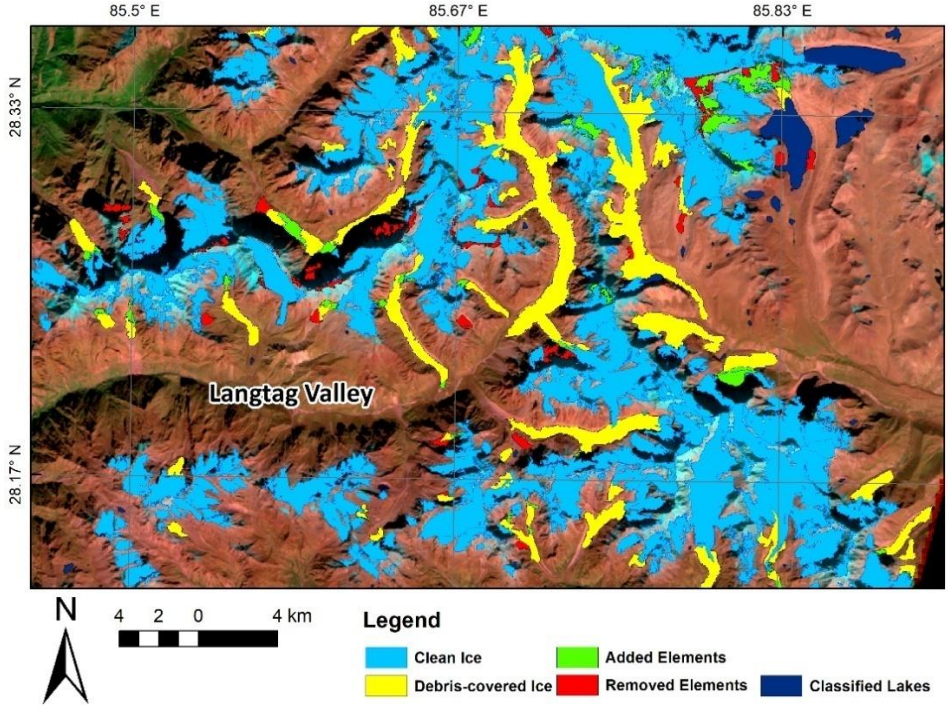


Figure 1. The OBIA results with manually corrected outlines through the example of Langtang valley region. False positive errors are marked with red colour, false negative errors are presented with green polygons.

Discussion

Therefore, nevertheless the fact that OBIA provides marginally higher accuracy than PBIA (Rastner et al. 2013), the main advantage of it is ability to use multiple characteristics for classifying objects at the same time. This ability is even more important when such complex and hidden objects as debris-covered glaciers are needed to delineate. Using of SAR coherence data in OBIA improves results of debris-covered ice mapping by 12 % (Robson, 2015), but using of this method is still not so widespread for high-mountain regions with complex morphology as the Himalayas.

Despite its effectiveness, the following obstacles were found to cause misclassifications and to decrease accuracy of the methodology.

First one is such a common SAR distortion as layover. In this case, coherence data are not considered as representative and the less efficient visible bands are used for correction if it is possible. Another difficulty refers to regions which show false low coherence where the motion of debris caused, for example, rather by a melted water flow than the underneath glacier movement.

The third example is one of the most widespread errors of the considered classification. It is missing of the transit zone between debris covered glacier and clean ice zone. In future, better thresholds should be applied putting more weight on SAR coherence data and with more precise NDSI index.

At the same time, mapping of the clean ice glaciers was complicated by the left snow patches at the high elevations and presence of shadows. Some zones covered with a snow pack were successfully removed with the slope threshold, but high resolution of the Sentinel-2 image increases possibility to detect even small patches of snow, that in this respect can lead to some

decreasing of the classification accuracy and is a rare disadvantages of high resolution data (Paul et al., 2016).

To take into consideration all described above factors that affect accuracy of classification, the manual correction was applied, hence average accuracy composed 93.6 %. It agrees with Robson et al. (2015) results for the Nepal region investigation where the found accuracy was 91% for the entire glacier area and 83% over debris-covered ice. Many other studies, using semi-automatic methodologies, found better results such as 95% (Bolch et al,2006; Bhambri et al. 2015). But they considered mainly only a few of glaciers. In this research, more than 750 km2 were mapped automatically with OBIA, and the high results were obtained.

Conclusion

The efficient application of Object-Based Image Analysis (OBIA) for clean and debris-covered glaciers mapping with up-to-date Sentinel-1 SAR and -2 MSI images was demonstrated. The area more than 3000 km^2 was analysed and 770 km^2 of glaciers were delineated with average accuracy 93.5%. This relatively high accuracy becomes especially a merit according to the difficulties of the glaciers monitoring over such morphologically complex and remote region as the Himalayas. For further improvement of result, the use of more recent DEM is required and additional setting of NDSI index to fill unclassified zones with dirty snow at transition zones. In the result, the large spatial coverage of this work and its analysis in the respect of the glacial monitoring showed the used method as a robust and promising technique.

Research was accomplished as part of the MSc thesis in University of Southampton.

References

Bhardwaj, A., Joshi, P., Snehmani, Singh, M., Sam, L. and Gupta, R. (2014). Mapping debris-covered glaciers and identifying factors affecting the accuracy. Cold Regions Science and Technology, 106-107, pp.161-174.

Frey, H., Paul, F. and Strozzi, T. (2012). Compilation of a glacier inventory for the western Himalayas from satellite data: methods, challenges, and results. Remote Sensing of Environment, 124, pp.832-843.

Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., Noguer, M., van der Linden, P., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C. (2001). Climate Change 2001: The scientific Basis: Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, p.881 pages.

Paul, F., Bolch, T., Kääb, A., Nagler, T., Nuth, C., Scharrer, K., Shepherd, A., Strozzi, T., Ticconi, F., Bhambri, R. and et al. (2013). The glaciers climate change initiative: methods for creating glacier area, elevation change and velocity products. Remote Sensing of Environment, 162, pp.408–426.

Paul, F., Huggel, C. and Kääb, A. (2004). Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers. Remote Sensing of Environment, 89(4), pp.510-518.

Rastner, P., Bolch, T., Notarnicola, C. and Paul, F. (2014). A Comparison of Pixel- and Object-Based Glacier Classification With Optical Satellite Images. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(3), pp.853-862.

Robson, B., Nuth, C., Dahl, S., Hölbling, D., Strozzi, T. and Nielsen, P. (2015). Automated classification of debris-covered glaciers combining optical, SAR and topographic data in an object-based environment. Remote Sensing of Environment, 170, pp.372-387.

Shukla, A., Arora, M. and Gupta, R. (2010). Synergistic approach for mapping debris-covered glaciers using optical–thermal remote sensing data with inputs from geomorphometric parameters. Remote Sensing of Environment, 114(7), pp.1378-1387.

Комплексный контроль восстановленных значений водного эквивалента на основе оперативных метеорологических измерений

***Чурюлин Е.В.*[1,2], Копейкин В.В.[1], Фролова Н.Л.[2], Розинкина И.А.[1,2]**
[1] *Гидрометцентр России*
[2]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва*
evgenychur@gmail.com

Аннотация: Снежный покров занимает отдельное значимое место при выполнении гидрологического моделирования. При этом наземных данных о высоте снежного покрова, его плотности и количестве воды в нем бывает недостаточно для детального изучения текущего вопроса и приходится использовать различные методы получения информации о состоянии снежного покрова. В рамках работы метеорологической модели *COSMO-Ru* нами была реализована независимая комплексная система получения информации о состоянии снежного покрова (*SNOWE technology*). Работа снежного модуля основывается на стандартных метеорологических измерениях (приземная температура воздуха, скорость ветра, высота снежного покрова, осадки), поступающих в Гидрометцентр России в синоптическом коде *SYNOP*, информации полей первого приближения (получаемая из технологии усвоения данных и атмосферного моделирования) и информации о нахождении его границ. Для получения полей первого приближения о состоянии снежного покрова используется система гидродинамического мезомасштабного моделирования *COSMO-Ru* на основе поступающих данных из системы усвоения Немецкой службы погоды (в частности, для анализа по разработанной методике применяются поля первого приближения, поступающие из *DWD*). Информация о границе снежного покрова усваивается на основе адаптированной *NOAA* информации ИСЗ с шагом 4х4 км.

В основе снежного модуля заложена одномерная многослойная модель снежного покрова, ежедневно вычисляющая значения накапливаемых влагозапасов и плотность снега. Работа технологии выполняется в квазиоперационном режиме на сетках модели *COSMO-Ru* для трех регионов Российской Федерации с различным пространственным шагом (2.2 км; 7 км; 13.2 км). В статье приводится алгоритм контроля входной метеорологической информации и представлена методика контроля восстановленных значений водного эквивалента и плотности снежного покрова. В качестве независимого материала для проверки и оценки точности снежного модуля применяются данные маршрутных снегомерных наблюдений по всей территории России за зимний сезон 2016 – 2017 года. Основными достоинствами технологии являются: высокая точность, производительность, независимость от основной атмосферной модели. Система чувствительна к оттепелям и позволяет достоверно определять *SWE* в период весеннего половодья при наличии достаточной входящей информации.

Ключевые слова: *SNOWE* technology, *COSMO-Ru, SWE*, плотность снежного покрова, in-situ данные, *NOAA* информация, квазиоперационный режим

Введение

Начало развития *SNOWE technology* было положено в 2012 - 2014 г. (Казакова, 2015), с 2015/2016 года работа технологии выполняется в квазиопреционном режиме для всей территории Российской Федерации. Использование технологии позволяет в значительной степени увеличить объем получаемой информации о состоянии снежного покрова для труднодоступных регионов нашей страны с удовлетворительной точностью (*Churiulin* et

al., 2017). При этом существует ряд трудностей, связанных с грубыми ошибками в исходных рядах наблюдений (Гандин и Каган, 1967), которые в дальнейшем могут вызывать ошибки при работе технологии. В работе рассматриваются критерии контроля входной метеорологической информации, для учета грубых ошибок в исходных рядах данных. Представлены результаты сравнения восстановленных снегозапасов с данными, полученными в ходе выполнения маршрутных снегомерных наблюдений.

Материалы и методы

Для исследования работоспособности *SNOWE technology* была выбрана Европейская территория РФ. В зону исследования вошли 42 метеорологические станции, располагающиеся в разных климатических условиях и подвергающиеся воздействию различных физико-географических факторов. Часть выбранных метеорологических станций располагается на территории с устойчивым снежным покровом в течении зимнего сезона, часть станций находится в условиях с редкими оттепелями, оставшиеся метеостанции располагаются в зоне с частыми оттепелями и крайне неустойчивым снежным покровом. При выборе метеорологических станций учитывался ряд параметров, которые должны были быть соблюдены. 1) метеорологическая станция должна производить стандартные стационарные наблюдения; 2) на метеостанции должны производиться маршрутные снегомерные наблюдения в зимний период года с регулярной дискретностью (5-10 суток); 3) метеостанция должна передавать информацию в виде синоптического кода *SYNOP* в установленные сроки; 4) станция и маршрут должны быть репрезентативны и учитывать физико-географические условия; 5) *SNOWE technology* должна иметь доступ к исходным данным и иметь возможность рассчитывать значения плотности (*RHO)* и запаса воды в снеге (*SWE)* для данных метеостанций; 6) метеорологическая станция должна производить наблюдения в полевых и лесных условиях для выполнения сравнения полученных значений.

В работе использовалась *метеорологическая информация* о состоянии снежного покрова (высота снежного покрова - *SD*), данные об осадках (12 часовые и 24 часовые), о приземной температуре воздуха, скорости и направлении ветра http://meteo.ru/data. В работе технологии также используются *композитные снимки NOAA* с разрешением 4 км – размещенные на сервере ftp://140.90.213.161/autosnow/4kmNH/ и *MODIS* с разрешением 250 м, размещенные на сайте http://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/rapid-response/modis-subsets. Спутниковые данные используются в работе технологии, в качестве источника информации о наличии снежного покрова (дополнительные корректор синоптической информации) и позволяют достоверно определять границы снежного покрова (снежная маска). Третьим источником начальных данных выступает *система гидродинамического мезомасштабного моделирования COSMO-Ru*. Система используется для получения полей первого приближения о состоянии снежного покрова, основывающихся на поступающих данных из системы усвоения Немецкой службы погоды. Технология позволяет производить объективный анализ *SWE* и *RHO* на основе моделирования их эволюции в течение периода снегозалегания. Использование получаемых с помощью предложенной методики полей характеристик снежного покрова в качестве начальных данных в мезомасштабной модели атмосферы *COSMO-Ru* обеспечивает повышение качества выпускаемой прогностической продукции за счет использования реалистичных значений характеристик подстилающей поверхности. При этом система содержит ошибки (Казакова и Розинкина, 2015) и выходящие поля данных о состоянии снежного покрова должны корректироваться с помощью натурных наблюдений и спутниковой информации.

Разработка ядра *SNOWE technology* была выполнена (Казакова, 2015) в 2014/15 году, в зимний сезон 2016/17 года работа технологии была модернизирована, создан дополнительный блок контроля входной метеорологической обработки, переписана

структура «снежного» ядра модели, доработан блок выходной информации (создан графический модуль).

Получение исходной синоптической информации в виде *SYNOP* кода из базы данных или любого другого источника изначально предполагает наличие во входной информации грубых ошибок, связанных с неверным вводом кода, некорректной расшифровкой синоптического материала или разовым ошибочным измерением на метеостанции. Работа снежной технологии организована таким образом, что значения *SWE* и *RHO* зависят от всей предыдущей «погодной» зимней истории. На первоначальной стадии обработки входящей метеорологической информации, шлюз доступа к данным производит первичный контроль полученных значений на соответствие их допустимым диапазонам, и в случае выхода за границы диапазонов, корректирует значения на основе имеющейся снежной истории, данных о высоте снега со спутника или основных метеорологических наблюдений, приходящих также в виде синоптического кода, либо заменяет их константами отсутствия. После выполнение первичного контроля в снежной технологии, реализована система вторичного контроля данных. Вторичный контроль данных осуществляется непосредственно «ядром» модели и в него входят следующие этапы: 1) проверка всех обязательных элементов (высоты столба снега, максимальной и среднесуточной температуры воздуха, осадков). Если хотя бы один из этих элементов отсутствует, счет модели не производится, и результат рассчитывается по данным истории модели за предыдущий день; 2) при получении данных о наличии снега с условием отсутствия снега в предыдущий день ставится ограничение, что его высота не может превышать 80 см (Казакова и др., 2010), в ином случае, входные данные считаются ошибочными, и принимается, что снегопада в этот день не было; 3) при получении данных о наличии снега с условием наличия снега в предыдущий день, анализируются значения прироста высоты столба снега, и если прирост составил более 70 см (Казакова и др., 2010), входные данные считаются ошибочными, а значение высоты столбца снега принимается равным значению в предыдущий день; 4) если полученные данные свидетельствуют об отсутствии снега, но в предыдущий день высота столбца снега составляла не менее 3 см, то для принятия решения о корректности поступивших данных необходимо проанализировать спутниковые данные. Если спутниковые данные свидетельствуют об отсутствии снега, то принимается решение об отсутствии снега. Если спутниковые данные свидетельствуют о наличии снега, то результат рассчитывается по данным снежной истории модели.

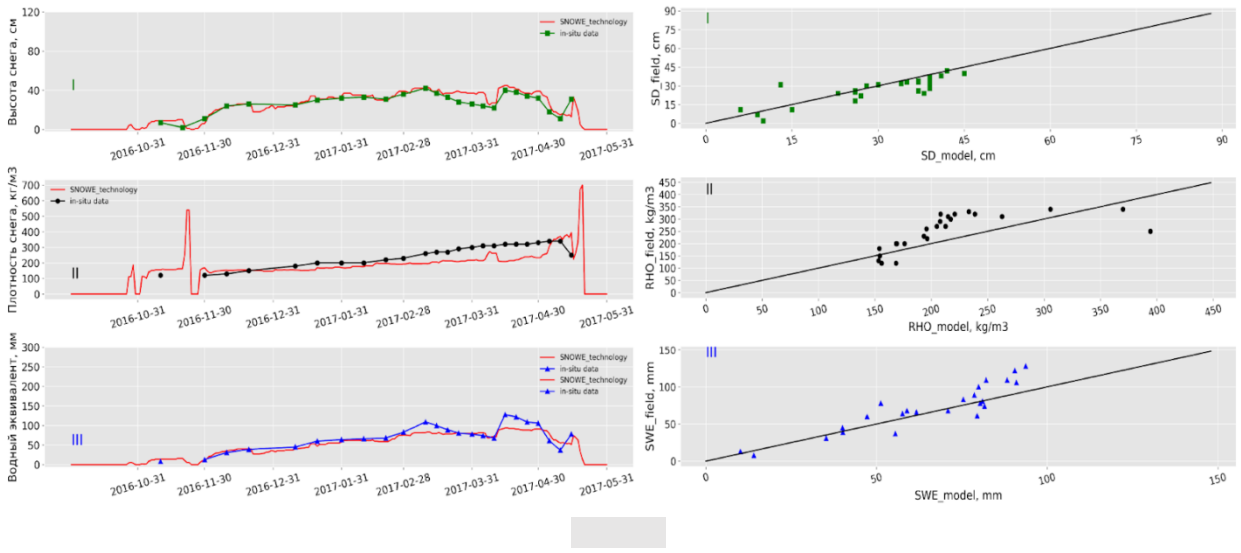
После выполнения модернизации технологии потребовалось оценить её работоспособность и сравнить восстановленные параметры снежного покрова. Расположение метеостанций в различных климатических условиях позволило выявить пространственно-временные зависимости возникновения ошибок и наметить дальнейший действия по их устранению.

Результаты

Результатом работы *SNOWE technology* являются ряды восстановленных значений водного эквивалента и плотности снежного покрова для 42 станций на территории РФ за зимний период 2016/2017 года с суточной дискретностью (рис 1).

Результаты сравнения измеренных и восстановленных значений для метеорологической станции Калевала показали, что коэффициент корреляции (r) для *RHO* = 0.629, для *SWE* = 0.909, среднеквадратическое отклонение (σ) для *RHO* = 68,7 кг/м^3, для *SWE* = 27.8 мм, также было установлено, что модель снежного покрова занижает значения плотности и запаса воды в снеге. Смещённость характеристик снежного покрова составила: *RHO* = -33,5 кг/м^3 и *SWE* = - 7.18 мм соответственно. Следует отметить, что несмотря на тот факт, что модель незначительно занижает значения *RHO* в течении

холодного период года, в момент начала активного таяния снега модель значительно завышает рассчитываемые значения. Особо ярко данная ошибка проявляется при малой высоте снежного покрова (1–2 см). Среднеквадратическая ошибка (*RMSE*) составила: *RHO* = 66.8 кг/м^3, *SWE* = 15.7 мм. Результаты расчетов для отдельных станция в районах с неустойчивым снежным покровом представлены в таблице 1.



а **б**

Рис. 1 График сравнения истинных и восстановленных значений SD, RHO, SWE на метеорологической станции Калевала в течении зимнего сезона 2016/17 года: а – мониторинг динамики развития снежного покрова (I – высота снежного покрова, II – плотность снежного покрова, III – запас воды в снеге); б – сравнение истинных и восстановленных значений I – высоты снега, II – плотности снега, III – запаса воды в нем.

Табл. 1 Сводная таблица для станций с неустойчивым и крайне неустойчивым снежным покровом

Область	УГМС	Пункт наблюдения	Индекс				
Плотность снежного покрова				r	σ, кг/м^3	Смещённость, кг/м^3	RMSE, кг/м^3
Ленинградская	СЗ	Петрокрепость	26072	0.566	60.2	2.46	57.1
Калининская	СЗ	Тверь	27402	0.917	73.1	-54.1	61.4
Московская	ВВ	Мичуринск	27935	0.804	65.9	-69.9	78.6
Тамбовская обл.	ЦЧО	Кирсанов	27957	0.919	72.3	-8.66	46.8
Воронежская обл	ЦЧО	Калач	34247	0.763	49.2	-3.57	34.6
Запас воды в снежном покрове				r	σ, мм	Смещённость, мм	RMSE, мм
Ленинградская	СЗ	Петрокрепость	26072	0.916	9.93	-1.31	4.271
Калининская	СЗ	Тверь	27402	0.701	20.1	-7.53	16.9
Московская	ВВ	Мичуринск	27935	0.978	53.9	-35.6	42.8
Тамбовская обл.	ЦЧО	Кирсанов	27957	0.982	26.9	-3.34	7.37
Воронежская обл	ЦЧО	Калач	34247	0.936	18.5	-6.15	10.3

Выводы

Модель снежного покрова "*Snowe technology*" для территории Российской Федерации, позволяет получать достоверные значения о плотности и запасе воды в снежном покрове. Система является устойчивой к оттепелям и способна давать надежные результаты даже при неустойчивом снежном покрове. Разработанная система контроля входной метеорологической информации в 95% случаев позволяет безошибочно корректировать ошибки во входной информации. Остальные 5% случаев требует введения еще более

жестких условий отбора (в частности – повышение степени детализации снежной маски). При расчете плотности снежного покрова, наблюдается значительное завышение полученных результатов расчетов в период активного стаивания снега, достигая максимальных значений при высоте снега 1– 2 см (система воспринимает полученные слои, как ледяную корку). Завышение плотности снежного покрова не оказывает существенного влияния на расчет *SWE*, прежде всего из-за небольшой высоты снежного покрова. В дальнейшем планируется развитие системы по четырем направлениям: улучшение работоспособности модели для лесных водосборов, усовершенствование снежной маски, физического блока модели, исправление имеющихся ошибок или неточностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 16-05- 00753-а).

Список литературы:

Казакова Е.В. Ежедневная оценка локальных значений и объективный анализ характеристик снежного покрова в рамках системы численного прогноза погоды COSMO-Ru // диссертация кандидата физико-математических наук 25.00.30/ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации – Москва, 2015

Churiulin E., Kuzmina E., Kopeykin V., Rozinkina I., Experience of preoperational runs for winter 2016/17 of SNOWE – technology for continuous modelling (from synoptical observations) and for initialization for COSMO-Ru runs of SWE values. // HarmoSnow – COST ESSEM1404, Frankfurter, 2017. Доступ по ссылке: https://agora.fmi.fi/pages/viewpage.action?pageId=21991738

Гандин Л.С., Каган Р.Л. К точности определения средней величины по дискретным данным // Труды ГГО, №112, 1963: 87-99

Казакова Е.В., Розинкина И.А., Чумаков М.М., Система расчетов характеристик снежного покрова для формирования начальных полей при численном моделировании погоды (на примере COSMO-Ru) // Метеорология и гидрология, №5, 2015: 20 – 32

Казакова Е.В., Розинкина И.А., Мачульская Е.Е., Результаты тестирования новой схемы параметризации снежного покрова в условиях таяния снега в модели COSMO-Ru // Труды ГМЦ, № 344, 2010: 147-164

Monitoring of recovered values of snow water equivalent based on operational in-situ data

***Churiulin E.V.*[1,2], *Kopeykin V.V.*[1], *Frolova N.L.*[2], *Rozinkina I.A.*[1,2]**
[1] *Hydrometcenter of Russia*
[2] *Lomonosov Moscow State University, Moscow*
evgenychur@gmail.com

Abstract: We are exploring the opportunity of applying automated program complex for calculations and definitions of analysis fields of snow water equivalent (SWE) and snow density (RHO) for atmospheric models. Following types of initial data are required.

1. Standard meteorological in-citu observations (T_{2m}, V_{10m}, snow depth, precipitation), which are transmitted across SYNOP code;
2. Information about initial conditions occurrence of snow cover;
3. Information about snow frontiers;

We have implemented the scheme of SYNOP data assimilation in a program complex. Moreover, we apply the initial 2-d fields of SWE and snow density, which are generated by a nonhydrostatic limited-area atmospheric prediction model COSMO. We get these data from DAS of DWD global modeling center (In general, we apply the first guess fields of named parameters). Last type of data, which we use in our work, is information about snow frontiers We assimilate this data from remote sensing data NOAA and the MODIS project of NASA.

Our program complex is based on the 1-d multilayer model of snow cover. The 1-d multilayer model allows us to calculate daily values of snow water equivalent accumulation and changes in snow density.

In the program complex, we have implemented two fundamentally different schemes of the definition of output parameters of SWE and SD values. The first one is calculations for real stations, another one is for grid points. In this program complex we have applied the schemes to three regions explored with different spatial resolution steps (SFO – 2.2 km, ETR – 7 km, ENA – 13.2 km). This work shows the efficiency of our analysis on the example for 42 meteorological stations on the territory of the Russian Federation.

Keywords: SNOWE technology, COSMO-Ru, SWE, density of snow cover, in-situ data, NOAA information, quasi-operating mode.

Оценка применимости общедоступных данных глобальных моделей атмосферы для расчета снегонакопления на крупном водосборе

***Шихов А.Н.*, Быков А.В., Тарасов А.В.**
Пермский государственный университет, г. Пермь
and3131@inbox.ru

Аннотация: В последние годы пространственное разрешение глобальных моделей атмосферы достигло 10-25 км, что позволяет использовать их общедоступные данные для расчета запасов воды в снежном покрове на водосборах крупных рек. В настоящей статье представлена оценка применимости выходных данных глобальных моделей прогноза погоды GFS (NCEP, США), GEM (CMC, Канада), ICON (DWD, Германия) и ПЛАВ (ИВМ РАН и Гидрометцентр России) для расчета сумм осадков холодного периода и снегозапасов на примере водосбора Воткинского водохранилища (S = 184319 км^2). Расчеты проведены за два холодных сезона: 2016–2017 и 2017–2018 гг. Методика расчета снегозапасов основана на суммировании осадков холодного периода, полученных по выходным данным модели атмосферы, с учетом их фазы, таяния снега при оттепелях, испарения с поверхности снежного покрова и перехвата осадков растительностью.

Для валидации результатов использованы данные о суммах осадков с 36 метеостанций, а также снегосъемки по 13 снегомерным маршрутам (только за 2016-2017 гг.). На основе сопоставления фактических и прогностических сумм осадков показано, что получение наиболее достоверного прогноза осадков холодного периода обеспечивает модель ICON. Однако данные этой модели были получены не за весь исследуемый период, что не позволило использовать их для расчета снегозапасов. Наибольшие ошибки прогноза сумм осадков холодного периода получены по модели GFS. Расчет снегозапасов за два холодных сезона на основе данных о суммах осадков выполнен по данным модели CMC/GEM. В среднем по площади бассейна полученные результаты характеризуются удовлетворительным уровнем надежности. В то же время на локальном уровне возникают существенные расхождения между расчетным и фактическим снегозапасом.

Ключевые слова: осадки холодного периода, запас воды в снежном покрове, глобальная модель прогноза погоды.

Введение

Корректный расчет запасов воды в снежном покрове является одним из необходимых условий для получения надежного прогноза весеннего стока. Существующая сеть метеостанций и снегомерных маршрутов зачастую не позволяет получить необходимый объем данных о пространственном распределении снегозапасов (Kuchment et al., 2010). В связи с этим, в последние годы интенсивно разрабатываются методы расчета снегонакопления на основе выходных данных численных моделей прогноза погоды (Queno et al., 2016). Сравнительно высокая надежность и пространственная детализация краткосрочного прогноза осадков в холодный период года позволяет применять численные модели прогноза погоды в комплексе с гидрологическими моделями для прогноза талого стока. Такой подход широко применяется для прогноза стока горных рек, в частности в Альпах (Verbunt et al., 2006), а также для расчета притока воды в водохранилища (Антохина, 2012; Мотовилов и др., 2017).

Обычно в качестве входа в гидрологическую модель используют численные прогнозы метеоэлементов по мезомасштабным моделям атмосферы с горизонтальным шагом сетки 1–10 км. Однако для проведения аналогичных расчетов в пределах крупных речных

бассейнов могут применяться и данные глобальных моделей атмосферы. Их преимуществом является возможность свободного получения в оперативном режиме с серверов ряда национальных метеослужб (табл. 1).

Целью настоящей работы является оценка применимости общедоступных данных глобальных моделей прогноза погоды GFS (NCEP, США), GEM (CMC, Канада), ICON (DWD, Германия) и ПЛАВ (ИВМ РАН и Гидрометцентр России) для расчета сумм осадков холодного периода и снегозапасов на водосборе Воткинского водохранилища (S = 184319 км^2). Расчеты производились на основе данных за два холодных сезона: 2016–2017 и 2017–2018 гг. Ранее, в 2012–2016 гг. для данного водосбора было проведено моделирование снегонакопления на основе выходных данных модели WRF с шагом сетки 10 км (Калинин и др., 2015; Пьянков, Шихов, 2016). В большинстве случаев, ошибка расчета максимального снегозапаса не превышала 25% от его величины. Однако нерешенной проблемой осталось значительное (на 30–50%) завышение сумм осадков по модели WRF в конце холодного периода (Калинин и др., 2015). В связи с этим, выбор иного источника данных об осадках для расчета снегонакопления остается актуальной задачей.

Материалы и методы

В настоящей работе использовались прогнозы осадков за период снегонакопления по четырем моделям атмосферы, краткие сведения о которых приведены в табл. 1. Прогнозы модели GEM были получены за весь исследуемый период. Прогнозы моделей GFS и ICON были получены за период с января по апрель 2017 г., а также холодный период 2017–2018 гг. Однако обработка данных модели ICON в январе 2018 г. была временно прекращена в связи с изменением формата их предоставления. Прогнозы модели ПЛАВ получены только за холодный период 2017–2018 гг.

С учетом перечисленных ограничений, расчет снегонакопления в 2016–2017 гг. выполнен только по модели GEM, а в 2017–2018 гг. производится по моделям GEM и ПЛАВ. Остальные модели использовались только для оценки сумм осадков за исследуемый период. В качестве альтернативного метода используется расчет снегозапаса по фактическим данным об осадках.

Таблица 1. Краткие сведения об использованных глобальных моделях атмосферы (Толстых, 2016)

Название модели	**Разработчик (страна)**	**Шаг расчетной сетки**	**Количество вертикальных уровней**	**Шаг сетки, на котором использовалась информация**	**Ссылка на источник данных**
GFS	National Center for Environmental Prediction (NCEP), США	13 км	64	0,25°	http://nomads.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/gfs/prod/
GEM	Canadian Meteorological Center (CMC), Канада	0,14°	120	0,24°	http://dd.weatheroffice.gc.ca/model_gem_global/25km/grib2/lat_lon/
ICON	Deutscher Wetterdienst (DWD), Германия	13 км	90	0,125°	http://ftp-outgoing2.dwd.de/gds/ICON/grib/europe/
ПЛАВ	ИВМ РАН, Гидрометцентр России	0,18°× 0,225°	51	0,18°× 0,225°	Получение по запросу от разработчиков модели

Все модельные данные были получены в коде GRIB2. Для автоматизации закачки данных с серверов были разработаны скрипты, которые позволяют получать данные только по выбранным переменным (в данном случае – о количестве осадков). Для

раскодирования данных и проведения вычислений использовалось программное обеспечение NDFD tkDegrib 2.02 и ArcGis 10. Расчет месячного количества осадков производился путем суммирования осадков за каждые сутки. Использовались результаты счета моделей от 00 ч ВСВ на срок 3 ч и 27 ч, чтобы обеспечить совпадение со сроками измерения количества осадков на метеостанциях.

Достоверность результатов расчета оценивалось путем сопоставления фактических и прогностических месячных сумм осадков по 36 метеостанциям, расположенным в пределах водосбора Воткинского водохранилища и в сопредельных районах. Для автоматизации получения данных с метеостанций разработан инструмент на языке Python, интегрированный в среду ArcGIS. В качестве источника метеоданных используется известный веб-ресурс https://rp5.ru/.

Для получения данных с сайта используется открытая библиотека для языка Python 2.7 – selenium, которая предоставляет возможность взаимодействия с веб-страницами. Инструменты модуля позволяют запрограммировать действия пользователя на сайте (выбор станций по идентификатору ВМО, формирование выходного файла .csv по заданному диапазону дат). Таким образом, программа создает массив данных с учетом ограничений, которые задаются перед запуском. Обработка полученного набора данных осуществляется с помощью библиотеки Pandas. Она включает считывание показателей, расчет необходимых характеристик (среднесуточной температуры воздуха, температуры точки росы, суточной суммы осадков и др.) и вывод в табличный формат (.xls). Таким образом, использование данного скрипта позволяет многократно сократить затраты времени на скачивание и предобработку данных.

Методика расчета снегозапасов в целом аналогична использованной ранее применительно к данным модели WRF (Калинин и др., 2015; Пьянков, Шихов, 2016). Она основана на суммировании осадков холодного периода, полученных по выходным данным модели, с учетом их фазы, таяния снега при оттепелях, испарения с поверхности снежного покрова и перехвата осадков растительностью. Для выполнения расчетов использовались следующие входные данные:

- прогностические поля твердых и жидких осадков, а также скорости ветра, полученные по глобальной модели атмосферы;
- данные наблюдений 36 метеостанций, расположенных как на территории водосбора, так и за его пределами (температура воздуха, температура точки росы, суточные суммы осадков);
- данные о подстилающей поверхности: цифровая модель рельефа водосбора, приведенная к пространственному разрешению 1 км, карта типов растительности, созданная на основе разносезонных снимков Terra/Aqua MODIS с разрешением 500 м.

Матрица высот, используемая в модели GEM, имеет размер ячейки 0,24°. Для получения реалистичных данных о пространственном распределении снегозапаса такое разрешение явно недостаточно. Учитывая это, была вычислена разность между матрицей высот, используемой в модели GEM, и более детальной моделью рельефа, с шагом сетки 1000 м. Для каждой ячейки модели был задан вертикальный градиент осадков, который для изучаемой территории принят равным 10%/100 м. Таким образом в ячейках, реальная высота которых больше (меньше), чем по матрице высот, используемой в модели GEM, сумма осадков увеличивалась (уменьшалась) пропорционально разности высот. Это позволило получить более адекватные данные о запасах воды в снеге в районах с пересеченным рельефом.

Расходная составляющая баланса снежного покрова включает потери на снеготаяние и испарение. Интенсивность снеготаяния при оттепелях рассчитывалась по

температурным коэффициентам стаивания (мм/1°С), значения которых определены путем калибровки, с учетом типа подстилающей поверхности. Расчет испарения снежного покрова за холодный период производился по методике, описанной в работе (Пьянков, Шихов, 2016). Валидация результатов расчета снегозапаса выполнена по данным маршрутных снегомерных съемок на метеостанциях, предоставленным Пермским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Результаты

Оценка достоверности расчета месячных сумм осадков по моделям GFS, GEM и ICON

Результаты сопоставления фактических (средних по данным 36 метеостанций) и прогностических сумм осадков по моделям GFS, GEM и ICON приведены на рис. 1. Анализ средних абсолютных ошибок расчета месячных сумм осадков показывает, что для моделей GFS и GEM характерно систематическое завышение количества осадков в холодный период года. Данная тенденция наиболее выражена в марте и апреле. Количество осадков по данным модели GFS в марте и апреле 2017 г. превышает фактические суммы осадков в среднем в два раза. По этой причине, данные модели GFS в ее современной конфигурации не могут быть использованы для расчета снегонакопления с приемлемой точностью. В середине холодного периода (в январе-феврале) завышение сумм осадков по модели GFS менее значительно, чем весной.

Модель CMC/GEM также завышала месячные суммы осадков в течение всего холодного периода. В 2016-2017 гг. минимальное завышение (в среднем на 10%) наблюдалось в январе, а максимальное (в среднем на 65%) – в марте. Аналогичная тенденция сохранилась и в 2017-2018 гг. Среднеквадратичная ошибка (RMSE) расчета месячных сумм осадков по модели GEM в период с ноября по февраль составляла 28–42% от фактического количества осадков, а в марте увеличилась до 77%. В 2017-2018 гг. RMSE составляла 28–35% от фактической суммы осадков. В целом, прогнозы сумм осадков холодного периода по модели GEM могут использоваться для расчета снегозапасов. При накоплении более длительного временного ряда расчетов величина систематического завышения осадков по модели GEM может быть уточнена, что позволит определить поправочные коэффициенты и тем самым усовершенствовать процедуру расчета.

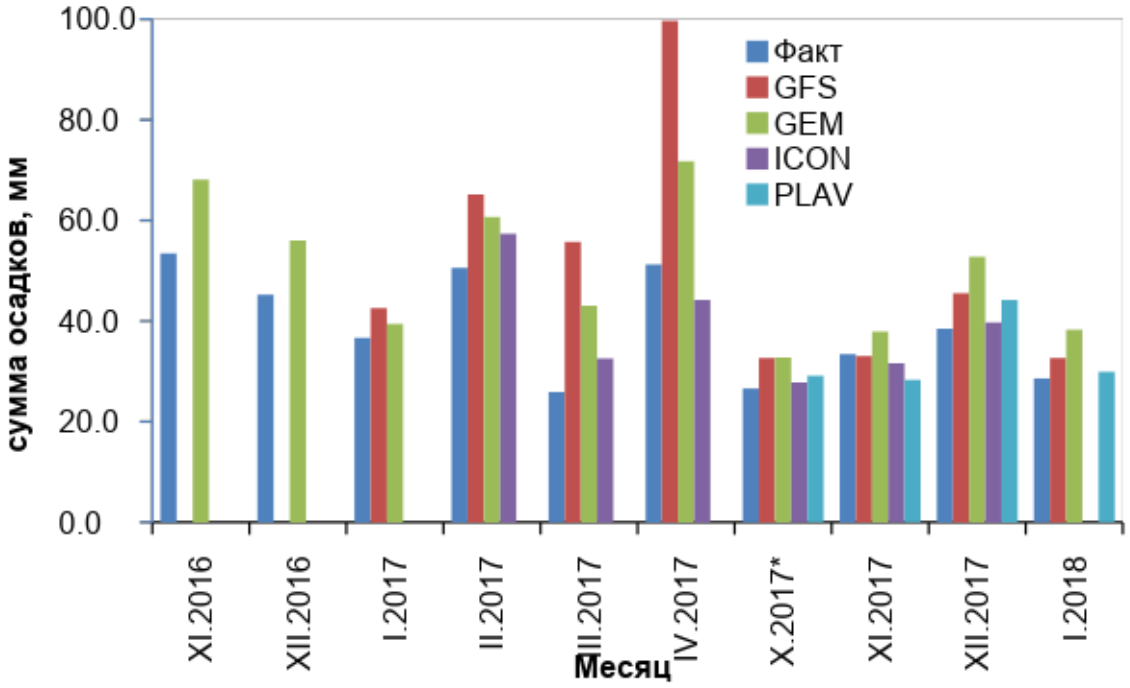
Для модели ICON, в отличие от моделей GFS и GEM, не характерно систематическое завышение количества осадков в период снегонакопления. В апреле 2017 г. среднее количество осадков по метеостанциям региона, рассчитанное по модели ICON, оказалось на 8 мм ниже фактического. RMSE месячных сумм осадков по модели ICON была существенно меньше, чем по моделям GFS и GEM, в течение всего исследуемого периода, и составляла 20-41% от среднего фактического количества осадков (рис. 1). Потенциально данные этой модели наиболее пригодны для расчета снегозапасов. Однако В 2017-2018 гг. в связи и изменением формата предоставления данных, их загрузка и обработка была временно приостановлена.

Что касается данных модели ПЛАВ, то в 2017-2018 гг. RMSE расчета месячных сумм осадков составляла 25–38%, от фактического среднего значения, что является удовлетворительным результатом. Основным недостатком данных этой модели является недооценка влияния барьерного эффекта Уральских гор на распределение осадков, и как результат – сильное (на 20-50%) занижение их количества в горной части бассейна.

Оценка достоверности расчета снегозапасов на основе данных модели GEM

За 2016–2017 гг. проведен расчет снегозапаса на основе данных об осадках по глобальной модели атмосферы CMC/GEM, а также по фактическим данным сети метеостанций. В среднем по площади водосбора расхождения величины снегозапасов, рассчитанной различными способами, не превышают 15%. Однако пространственное распределение снегозапасов различается весьма существенно. В юго-западной части

водосбора снегозапас, рассчитанный по данным модели GEM, оказался завышен более чем в полтора раза.



** – только за период снегонакопления (с 19.10.2017)*

Рис. 1 Сопоставление фактических и расчетных месячных сумм осадков по данным глобальных моделей прогноза погоды

Для оценки достоверности расчета снегозапасов использованы данные снегомерных съемок на 13 маршрутах. RMSE результатов расчета снегозапасов по состоянию на 10.03.2017 г. по данным модели GEM составляла 64 мм, а по фактическим данным – 44 мм, соответственно 30% и 21% от среднего запаса воды в снеге по данным снегомерных маршрутов. В большинстве случаев при расчете по данным модели GEM влагозапас снега оказывается выше, чем по данным снегосъемок. Наиболее существенные расхождения характерны для южной части территории.

Исследование проведено при поддержке РФФИ (проект № 17-05-01001-а). Также авторы выражают благодарность сотрудникам Лаборатории перспективных численных методов в моделях атмосферы Гидрометцентра России и лично М.А. Толстых за предоставленные данные счета модели ПЛАВ.

Список литературы

Антохина Е. Н. Водный режим рек Европейской территории России и его изучение на основе модели формирования стока. Дисс. канд. геогр. наук. М., МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. 219 с.

Мотовилов Ю.Г., Балыбердин В.В., Гарцман Б.И., Гельфан А.Н., Морейдо В.М., Соколов О.В. Краткосрочный прогноз притока воды в Бурейское водохранилище на основе модели ECOMAG с использованием метеорологических прогнозов // Водное хозяйство России. 2017. № 1. С. 78–102.

Калинин Н.А., Свиязов Е.М. Шихов А.Н. Моделирование процессов снегонакопления и снеготаяния на водосборе Воткинского водохранилища с использованием модели WRF–ARW // Метеорология и гидрология, 2015, №11, С. 57–68.

Пьянков С.В., Шихов А.Н. Моделирование пространственного распределения снегозапасов на крупном водосборе с применением спутниковой информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса, 2016, 34. С. 29–41.

Толстых М.А. Глобальные модели атмосферы: современное состояние и перспективы развития // Труды Гидрометцентра России, 2016, №1, С. 5–33.

Quéno L., Vionnet V., Dombrowski-Etchevers I., Lafaysse M., Dumont M. & Karbou F. Snowpack modelling in the Pyrenees driven by kilometric-resolution meteorological forecasts // Cryosphere. 2016. Vol. 10. PP. 1571–1589.

Verbunt M., Zappa M., Gurtz J. & Kaufmann P. Verification of a coupled hydrometeorological modelling approach for alpine tributaries in the Rhine basin // Journal of Hydrology. 2006. Vol. 324. PP. 224–238.

Validation of the free-available global atmospheric models data for snow accumulation modeling on a large-scale basin

Shikhov A.N.*, *Bykov A.V.*, *Tarasov A.V.
Perm State University, Perm
and3131@inbox.ru

Abstract: In recent years, the spatial resolution of the free-available global atmospheric models data is increased to 10–25 km. As a result, this data can be used for snow accumulation modeling on a large-scale basin. The paper describes the accuracy assessment of global numerical weather prediction (NWP) models GFS (NCEP, U.S.), GEC (CMC, Canada), ICON (DWD, Germany) and PLAV (Hydrometcentre of Russia) for estimation of cold season precipitation amount and snow accumulation modeling, on example of a large-scale basin of Votkinsk reservoir, which area is 184319 km^2. The calculations are performed over two cold seasons (2016–2017 and 2017–2018). The method of snow water equivalent (SWE) calculation is based on a summation of NWP-calculated cold season precipitation, taking into account their phase, snowmelt during thaws, snow interception and sublimation processes.

The precipitation measurements of 36 weather stations and snow survey data of 13 routes (only for 2016–2017 cold season) are used for validation of NWP forecasts. The comparison of NWP-calculated precipitation amount with the weather stations data shows, that the ICON model provide a more reliable forecasts. However, the ICON model data were not always obtained, and could not be used for SWE estimation. The GFS model data about a cold season precipitations have a highest error in comparison with other models. As a result, we used the CMC/GEM precipitations forecasts for SWE simulation in 2016–2017. The SWE estimation by the CMC-GEM model, averaged over the basin, has a satisfactory accuracy. However, a substantial difference between measured and simulated SWE are found on a local scale level.

Keywords: cold season precipitation, snow water equivalent, global atmospheric models

Наледи в бассейне р. Индигирки – исторические материалы и современное состояние

***Шихов А. Н.*[1], Макарьева О.М. [2, 3, 4, 5], Осташов А.А.[4], Нестерова Н.В. [4,5]**
[1]*Пермский государственный университет, Пермь*
[2]*ООО «НПО «Гидротехпроект», Санкт-Петербург*
[3]*Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск*
[4]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
[5]*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург*
and3131@inbox.ru

Аннотация: В статье приведены основные результаты изучения динамики наледеобразования в бассейне р.Индигирки с 1958 года по настоящее время при сравнении данных о распространении и площадях наледей из Кадастра наледей Северо-Востока СССР и снимков Landsat и Sentinel-2. По данным Кадастра наледей в пределах бассейна р. Индигирки насчитывается 896 наледей общей площадью 2064 км^2. Общее число наледей, выделенных по снимкам Landsat, составило 1269, а их суммарная площадь – 1286 км^2. Существенная разница между данными Кадастра и сников указывает на значительную межгодовая изменчивость условий образования наледей.

Ключевые слова: наледи, Северо-Восток, р.Индигирка, Landsat, Sentinel-2, Кадастр наледей Северо-Востока СССР

Введение

В условиях постоянно растущего интереса к освоению и развитию арктических областей перед исследователями стоит задача понимания гляциальных и мерзлотных явлений, к которым относятся такие объекты как наледи. Активизация наледеобразовательных процессов может приводить к существенным материальным издержкам, они отрицательно влияют на устойчивость дорожного полотна и инженерных сооружений, а также осложняют эксплуатацию гидротехнических и промышленных конструкций (Наледи Сибири…, 1981).

Особенно остро встает задача изучения наледеобразования в условиях изменяющегося климата. Учитывая высокую стоимость строительных проектов на территориях Сибири и Дальнего Востока, необходима разработка геоинформационных систем, позволяющих получить информацию о наледях, их распространении и динамике.

Целью исследования является обновление Кадастра наледей Северо-Востока России (Симаков и Шильниковская, 1958) с использованием спутниковых снимков Landsat, а также создание базы геоданных, содержащей сведения об историческом и современном местоположении и характеристиках наледей бассейна реки Индигирки.

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбран бассейн реки Индигирки с площадью 360 000 км². Для водосбора характерен горный рельеф. Высокие пики хребтов сочетаются с расчленением их склонов речными долинами. Климат исследуемого района резко-континентальный. Среднемноголетняя годовая температура воздуха изменяется от -16.1˚С (Оймякон, 726 м, 1930-2012) до -13.1˚С (Восточная, 1288 м, 1942-2012). Устойчивые морозы начинаются с первой декады октября, весна наступает во второй половине мая – начале июня, когда начинается разрушение устойчивого снежного покрова.

Территория исследования относится к зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты, ее мощность под водоразделами составляет 400-600 м, под речными долинами – 200-300 м (Геокриорология СССР, 1989).

Для рек характерен восточносибирский тип водного режима с весенне-летним половодьем, высокими летне-осенними дождевыми паводками и низкой зимней меженью. В зимний период малые и средние реки перемерзают. Половодье наступает в мае-июне и длится около полутора месяцев. В летний период дождевое питание дополняется водами от таяния наледей, ледников и снежников.

Район характеризуется широким распространением наледей. Всего на Северо-Востоке обнаружено более 10 тыс. наледей, общая площадь которых составляет около 14 тыс. км2 (Соколов, 1975). Относительная наледность для бассейнов рек в среднем колеблется от 0,4 до 1,3%, достигая 4% в бассейнах некоторых рек (Толстихин, 1974).

Методы исследования

Карта и Кадастр наледей (Симаков и Шильниковская, 1958)

Карта и Кадастр наледей Северо-Востока СССР (1958) с приложениями стала первой обобщающей работой по количественному учету наледей и их характеристик для исследуемой территории. Выявление и оценка характеристик наледей были произведены главным образом на основе дешифрирования аэрофотоснимков. Дешифрирование наледных участков долин опиралось на геоморфологические признаки. Кадастр содержит данные о 7448 наледях различных размеров и более 2000 булгунняхах. Из общего количества наледей 7006 нанесены по данным дешифрирования, а 442 - по данным геологических отчетов. В Кадастре приведены максимальная длина и средняя ширина, полученные непосредственным измерением по аэрофотоснимку. Также указывался источник сведений о наледях. Размеры наледей, нанесенные согласно отчетным данным и устным сообщениям, в Кадастре не приводятся. Дополнительно в Кадастре для 592 наледей (66%) приведены сведения о дате фиксации льда по аэрофотоснимку.

В ходе текущей работы была оцифрована Карта наледей Северо-Востока СССР для бассейна р.Индигирки до створа ГМС Воронцово. Оцифровка наледей Кадастра (1958) производилась в программном комплексе ArcGIS путем создания точечных объектов.

На предварительном этапе были отобраны топографические карты на район исследования в масштабе 1:200000 (https://maps.vlasenko.net) с целью уточнения расположения наледи. Если наледь из Кадастра отображена на топографической карте, точечный объект наледи наносился в центр полигона наледи на карте. При незначительном смещении карты Кадастра в сторону от реки из-за погрешности карт и привязки, наледь ставилась непосредственно на русло реки на минимальном удалении от наледи, изображенной на карте Кадастра. Если наледь присутствовала на топографической карте и отсутствовала на карте Кадастра, то точечный объект наледи ставился в ее центр по топографической карте, а площадь оценивалась методами ГИС. В дальнейшем для каждой наледи была получена абсолютная высота ее расположения при использовании цифровых моделей рельефа (http://www.viewfinderpanoramas.org).

Спутниковые данные

Местоположение и площадь наледей достаточно легко определяется по общедоступным снимкам со спутников серии Landsat и/или Sentinel-2, полученным в период сразу после схода снежного покрова (для исследуемой территории это вторая половина мая и июнь). Как известно, снежно-ледовые объекты характеризуются высокими коэффициентами отражения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах и значительным его снижением в среднем инфракрасном диапазоне спектра. На этой закономерности основан нормализованный дифференциальный снежный индекс NDSI, который рассчитывается по формуле (Hall et al., 1995):

$$NDSI = (GREEN - SWIR1)/(GREEN + SWIR1),$$

где SWIR1 – коэффициент отражения в среднем инфракрасном канале (1,56 — 1,66 мкм для снимков Landsat-8), а GREEN – коэффициент отражения в зеленом канале (0,525 – 0,6 мкм для снимков Landsat-8). Пороговое значение NDSI, по которому происходит

отделение снежного покрова и ледовых объектов, обычно принимается равным 0,4 (Hall et al., 1995).

Помимо NDSI, для выделения наледей по снимкам Landsat предложены также другие индексы: нормализованный разностный индекс ледников (Normalized Difference Glacier Index, NDGI) и индекс максимальной разности льда (Maximum Difference Ice Index, MDII). Их преимущества и недостатки описаны в работе (Morse and Wolfe, 2015). Существенной проблемой при идентификации наледей по космическим снимкам является их отделение от пойменных и термокарстовых озер, которые в мае-июне также покрыты льдом и имеют сходные с наледями спектральные характеристики. Для решения этой проблемы рекомендуется выполнять маскирование водных объектов по снимкам, полученным в середине летнего сезона, когда ледовый покров на всех водоемах уже разрушается (Morse and Wolfe, 2015).

В настоящей работе идентификация наледей в бассейне р. Индигирки была проведена по снимкам со спутника Landsat-8, за 2013-2017 гг., полученным с веб-сервиса Геологической службы США (http://earthexplorer.usgs.gov/). Всего обработано 33 снимка, полностью покрывающих бассейн р. Индигирки. Выбор дат съемки производился таким образом, чтобы выделить максимально возможное количество наледей, так как в июне происходит их интенсивное таяние и небольшие по площади наледи полностью стаивают уже к середине июня. Самая ранняя из выбранных дат съемки – 15 мая, а самая поздняя – 18 июня.

Предварительная обработка снимков (пересчет из яркостей в коэффициенты отражения) выполнена средствами модуля Semi-Automatic Classification Plugin в программе Qgis 2.18.

Алгоритм выделения наледей был реализован в пакете ArcGis с помощью приложения ModelBuilder. Помимо снимков, при расчетах была использована цифровая модель рельефа GMTED2010 с пространственным разрешением 250 м, полученная с веб-сервиса Геологической службы США. На основе данной ЦМР была построена сеть тальвегов в пределах исследуемого водосбора. Использование сети тальвегов необходимо, поскольку практически все наледи расположены либо на водотоках, либо в непосредственной близости от них. Предварительный визуальный анализ снимков позволил оценить оптимальную величину буферной зоны вокруг тальвегов, необходимой для выделения наледей. Она принята равной 1,5 км.

Процесс идентификации наледей по снимкам Landsat включал следующие этапы:

1. Выделение снежно-ледовых объектов по пороговому значению NDSI, равному 0,4.
2. Создание маски воды по пороговым значениям нормализованного разностного водного индекса NDWI (порог принят равным 0,3), и коэффициента отражения в ближнем ИК канале (порог принят равным 0,04).
3. Вырезание выделенных снежно-ледовых объектов по границам буферной зоны вокруг тальвегов (шириной 1,5 км).
4. Конвертация в векторный формат, расчет площадей и удаление объектов площадью менее 5 пикселей Landsat (0,45 га).

Предложенный алгоритм позволяет успешно выделить наледи по снимку, в случае отсутствия снежного покрова поверх наледи. В конце мая – начале июня некоторые наледи в горных районах еще покрыты снегом. Для их выделения потребовалось использовать снимки с более поздней датой съемки (в середине июня).

В работе (Morse and Wolfe, 2015) был предложен новый спектральный индекс MDII для автоматического разделения снежных и ледовых объектов. В настоящей работе применение данной методики было ограничено, в связи с большим разнообразием спектральных свойств наледей, многие из которых на момент съемки были частично

покрыты снегом. Поэтому во многих случаях уточнение контуров наледей выполнялось вручную, как и удаление покрытых снегом областей, которые не связаны с наледями. Пример результатов выделения наледей по снимку и сравнения с данными Кадастра приведен на рис. 1.

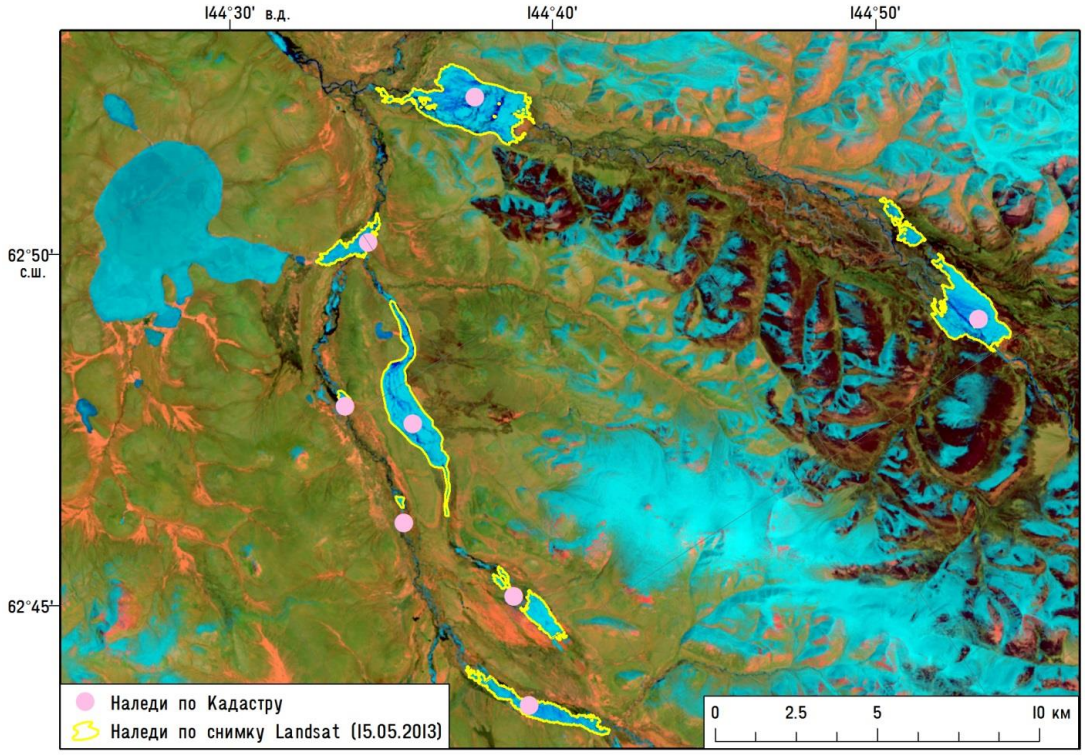


Рис. 1. Пример результата идентификации наледей по снимку Landsat-8

Первые результаты и выводы

Наличие данных Кадастра наледей позволяет провести взаимную верификацию исторических и спутниковых данных. Верификация основана на определении соседних (ближайших) объектов между точечным слоем наледей по данным Кадастра и полигональным слоем, полученным по снимкам Landsat. При этом связываемые объекты должны находиться в пределах одного тальвега.

По данным Кадастра наледей (Симаков и Шильниковская, 1958), в пределах бассейна р. Индигирки насчитывается 896 наледей, для 808 из них в Кадастре указана площадь. Общая площадь всех наледей по данным Кадастра составляет 2063,6 км^2, а площадь отдельных наледей – от 0,01 до 82 км^2.

По результатам автоматизированной обработки спутниковых снимков Landsat общая площадь наледей составила 1253,9 км^2. В ходе проведенного сопоставления с данными Кадастра, было векторизовано вручную еще около 100 наледей (на общей площади 32 км2). Эти наледи не были идентифицированы по снимкам, главным образом, по причине их покрытия снегом на момент съемки. Таким образом общее число наледей, выделенных по снимкам Landsat в бассейне р. Индигирки, составило 1269, а их суммарная площадь – 1285,9 км2. Величину ошибки второго рода (долю пропуска объектов) при автоматизированном выделении наледей можно оценить в 2,6% от их общей площади. Основные результаты сопоставления данных о наледях по данным Кадастра и спутниковой съемки представлены в табл. 1.

Всего по снимкам Landsat были идентифицированы 636 наледей из Кадастра. Им соответствует 612 наледей, выявленных по снимкам. Таким образом, в 24 случаях одной наледи на снимке соответствуют две наледи в Кадастре. Еще 260 наледей,

присутствующих в Кадастре, не удалось идентифицировать по спутниковым данным. В основном это небольшие по площади наледи, которые стаивают уже к середине июня. Также расхождения можно объяснять естественной изменчивостью, т.к. с середины XX в. (когда проводились полевые наблюдения и был создан Кадастр наледей), некоторые наледи могли исчезнуть.

Таблица 1. Сопоставление данных о наледях по Кадастру и по спутниковым снимкам

Источник данных	Пересечение данных Кадастра и Landsat	Неподтвержденные
Данные Кадастра	636 (1913,2)	260 (150,4)
Данные Landsat	611 (1037,0)	602 (250,4)

В свою очередь, из наледей, выявленных по снимкам, в Кадастре присутствует менее половины. 657 наледей (на общей площади 262,8 км2), выявленных по снимкам Landsat, не подтверждены по данным Кадастра. Столь значительное расхождение может быть вызвано следующими причинами:

- В ряде случаев одной наледи по Кадастру соответствует две или больше наледей, выявленных по снимку.
- Значительная межгодовая изменчивость условий образования наледей, что приводит к образованию новых наледей на участках, где они ранее не фиксировались.

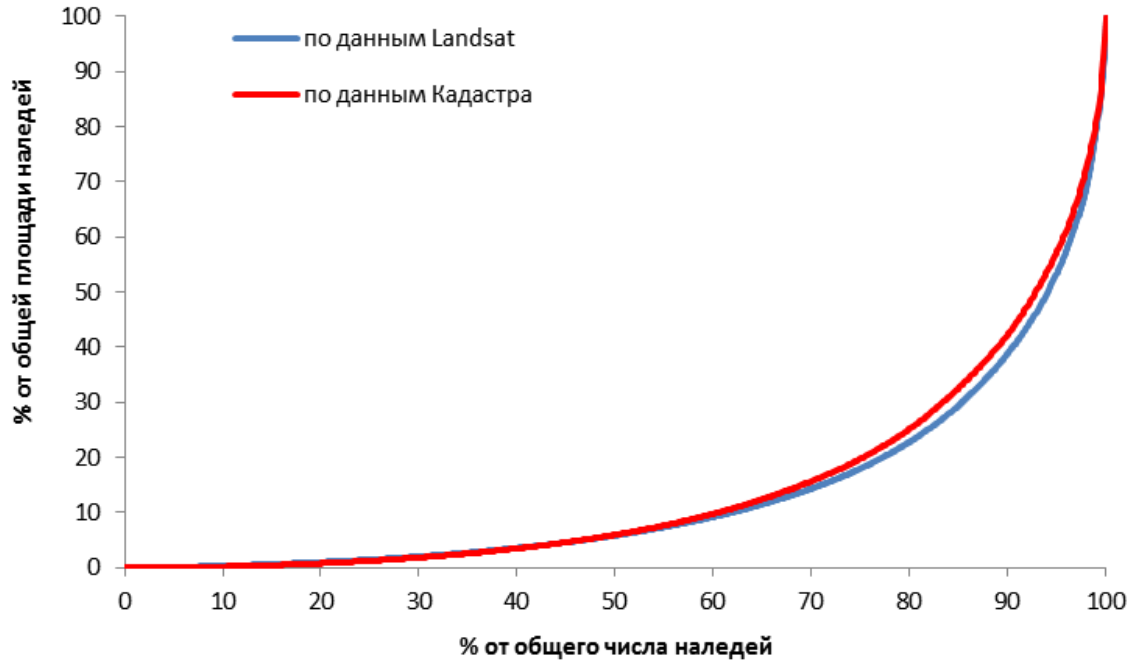


Рис. 3. Кривые Лоренца, иллюстрирующие распределение площади наледей по данным Кадастра и по спутниковым данным

Распределение площади наледей (по данным Кадастра и по спутниковым данным) проиллюстрировано с помощью кривых Лоренца (рис. 3). Их форма в обоих случаях указывает на высокую степень неравномерности. При этом неравномерность

распределения площадей по спутниковым данным оказывается несколько выше, чем по данным Кадастра. На 10% наиболее крупных наледей по данным Landsat приходится 61,1% от их общей площади, а 10% наиболее крупных наледей по данным Кадастра занимают 57,4% от общей площади.

Список литературы

Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Н. Н. Романовский, А. В. Гаврилов, В. Н. Зайцев и др. — Недра М, 1989. — 515 с.

Кадастр к карте наледей Северо-Востока СССР Масштаба 1:2000000. Шильниковская З.Г.// Центральная комплексная тематическая экспедиция Северо-Восточного геологического управления. Магадан. 1958

Карта наледей Северо-Востока СССР Масштаба 1:2000000. Симаков А.С., Шильниковская З.Г. // Северо-Восточное геологическое управление Главного управления геологии и охраны недр при Совете Министров РСФСР. Центральная комплексная тематическая экспедиция. Магадан. 1958

Наледи Сибири и Дальнего Востока. - Новосибирск: Наука, 1981. 244 с.

Соколов Б. Л. Наледи и речной сток / Б. Л. Соколов. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1975. - 190 с

Толстихин О.Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 164 с.

Hall, D. K., Riggs G. A., Salomonson V. V. Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data // Remote Sensing of Environment. 1995. Vol. 54, PP. 127–140.

Morse P.D., Wolfe S.A. Geological and meteorological controls on icing (aufeis) dynamics (1985 to 2014) in subarctic Canada // Journal of Geophysical Research: Earth Surface. Vol. 120. PP. 1670–1686

USGS EarthExplorer. URL: https://earthexplorer.usgs.gov/

Soviet military topographic maps 1:200000. URL: https://maps.vlasenko.net

Viewfinderpanoramas. URL: http://www.viewfinderpanoramas.org

Aufeis at the Indigirka river basin – historical data and current state

Shikhov A.[1], Makarieva O.[2,3,4,5], Ostashov A.[4], Nesterova N.[4,5]

[1]Perm State University, Perm, Russia

[2]Gidrotehproekt Ltd, St. Petersburg, Russia

[3]Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russia

[4]St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

[5]State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

and3131@inbox.ru

Abstract: The article has the main results of the study of the aufeis dynamics at the Indigirka river basin from 1958 to the current time by comparing the data of aufeis distribution and area from the Cadastre to the map of aufeis of the North East Siberia of the USSR and Landsat and Sentinel-2 images. According to the Cadastre of aufeis within the Indigirka river basin, there are 896 icings with a total area 2064 km^2. The number of aufeis reach to 1269 according the Landsat data with their total area – 1286 km^2. The difference between the Cadastre and the remote data indicates significant interannual variability in aufeis conditions.

Keywords: aufeis, the Indigirka river, Landsat, Sentinel-2, Cadastre of aufeis of the North East Siberia of the USSR

Секция 2
Новые грани гидрологии

Session 2
Innovative research methods in hydrology

К вопросу о формировании фильтрационных потоков в зоне активного водообмена почвогрунтов

***Абрамов Д.В.*[1], *Никифоровский А.А.*[2]**
[1]*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург*
[2]*ООО НПО «Гидротехпроект», Валдай*

Аннотация: Нет сомнений, что формирование стока одно из самых важных направлений в гидрологическом моделировании. Несмотря на его важность, до сих пор есть нерешенные задачи. Одна из таких это взаимодействие между грунтовыми и поверхностными потоками. Существует много подходов, но не один из них не описывает ситуацию, если существуют особенные условия. Примером подобных задач являются количественные описания процессов водообмена в карстовых образованиях, в зоне активного водообмена подстилающей поверхности при рассмотрении генезиса паводков и т.п. Отметим, что прямое использование методов решения задач геофильтрации или соответствующих для ненасыщенной зоны малоэффективны, поскольку опираются на трудноопределимые и слабо проверяемые наборы параметров.

Нами предлагается такой подход рассмотрения предложенных задач, при котором рассматриваются совместно как географически распространенные стоковые структуры, так и особенности динамики влаги в них. Соответствующие описания, основанные на физических принципах, в большей степени соответствуют как физической природе явления, так и построению эффективных алгоритмов математического решения задачи.

В качестве предмета изучения было предложено исследование процессов формирования водообмена на карстовом массиве Ижорское плато. Предполагаемая в результате рассмотрения геологических процессов кластерная структура подобного массива сопровождается существованием особенных, по сути разломных, зон, необходимо обладающая малым сопротивлением возможному потоку. Тем самым подобные объекты являются естественными транспортными каналами, определяющими особенности водообмена в карстовом массиве, и, следовательно, водный режим связанных гидрологических объектов.

Нами предполагается наличие существенных связей между указанными зонами макротрещинноватости и морфологическими параметрами поверхности, такими как локальные депрессии, гребни, уступы. Обоснованность такого предположения должна быть проверена корреляцией предположительных зон с существующей гидрографической сетью, иными водными объектами и т.п. Выделение особенностей морфологического строения производится посредством использования цифровых технологий, включая построения специальных фильтров величин высоты отметок цифровой модели рельефа, полученной в результате наших исследований. Источниками являются открытые данные, такие как SRTM с разрешением 1 угловая секунда, и другие данные.

Ключевые слова: Грунтовый сток; цифровая модель рельефа; математическое моделирование; геоморфологические структуры; пористые структуры

«Всё стоящее уже давно придумано,
надо только не бояться попробовать
перепридумать это еще раз»
Иоганн Вольфганг Гёте

Введение

Формирование стока. Природный процесс, имеющий важнейшее значение и трудно постижимое описание. Парадигма имеет кажущуюся простоту: осадки выпадают на водосбор, частично испаряются, что-то впитывается в землю, остальное – стекает. Однако, при рассмотрении деталей, а именно детальности требует «модельный» подход, возникают трудности, связанные с необходимостью определения и верификации разнообразных параметров, решением уравнений с трудноопределимыми граничными условиями, несоответствием расчетных и наблюдаемых величин. Определенная часть этих трудностей связана как раз «простотой» парадигмы, не учитывающей, собственно характер взаимодействия влаги с материалом подстилающей поверхности. А именно особенности взаимодействия влаги с пористой средой в зоне неполного насыщения определяют, в конечном счете, величину стока. Впитавшаяся в грунт влага, образовавшаяся в результате выпадения осадков, снеготаяния, оттаивания грунтов и т.п., может разгружаться в стоковую (русловую) сеть только путем фильтрации в нашей пористой среде. Игнорирование этого, по сути мажорирующего фактора, учитывая темпы скорости движения, и тем самым, темпы водообмена в общей картине стока, и создает указанные трудности.

Основой нашего подхода является представление о существование структур формирования стока разной степени проявленности. Их выделение на основе различных представлений особенностей морфологического строения, получаемых, в том числе, построением и обработкой цифровых моделей рельефа (ЦМР), дает получить ключевые параметры возможных моделей стока.

Другой задачей является описание взаимодействия между увлажняемым осадками массивом почвогрунтов и этих структур, а так же собственно движения влаги в них. Для решения задачи, мы должны дать описание движения влаги в пористой среде.

Движение влаги в пористой среде

Не вся влага в пористой среде имеет способность к передаче гидравлического давления, и следовательно, способность к сплошному движению. Тогда всю влагу в порах можно разделить на два типа: «активная»(сплошная) влага(АВ) и влага задержанная(ВЗ).

Отметим, что движение возможно только при влажности, превышающей некоторую критическую (h*), с той оговоркой, что физико-химические процессы на фронте увлажнения, конечно, тоже являются движением, но в ином, малом масштабе, по крайне мере в рамках усредненного описания. Другим будет наше представление о распределении влажности в объеме. Значение следующих величин, характеризующих влажность, берутся в расчете на 100 мм слой, иными словами, представляют собой относительные величины:

$$h = h_c + h_z$$

h – общая влажность

$$h_c - \text{слой сплошной воды}$$
$$h_z - \text{слой "задержанной" воды}$$
$$h_c = 0 \text{ при } h \leq h^*$$

В предположении об изотропности среды и, учитывая малость членов, содержащих компонентов скоростей, динамика влаги будет описываться уравнениями баланса следующего вида (в тензорной нотации):

Массы:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} h_c v_k = 0$$

Количества движения:

$$\frac{\partial h_c v_k}{\partial t} = -\frac{h_c}{\rho}\frac{\partial}{\partial x_k} p - \delta_{3k} g h_c + F(v_k) \qquad k = 1,2,3$$

Где vk – компоненты скорости массового движения в пористой среде, δ_{3k} – символ Кронекера, g – ускорение свободного падения, p – давление сплошной влаги, включая влияние всасывающего давления почвогрунтов, ρ – плотность жидкости, $F(v_k)$ – объемная сила, характеризующая сопротивление движению, выраженная как закон сопротивления.

Для пористой среды, отвечающей основным типам реально существующих почвогрунтов, закон сопротивления может быть представлен как:

$$F(v_k) = -f(h) v_k$$

Определение конкретного вида зависимости $f(h)$, представляющее собой отдельную задачу, не входящую в рамки данного изложения, дает нам следующее:

$$F(v_k) = -\frac{\xi \eta h^*}{\rho h_c} v_k$$

Где ξ – параметр характеристической геометрии среды, η – кинематическая вязкость жидкости.

Для пористой среды, соответствующей строению макротрещиноватым структурам, например карста, имеем

$$F(v_k) = -f(m, v_k) v_k = -f(m) {v_k}^{\alpha}$$

Где m – мощность «фильтрационного» потока в карровой структуре или в разломе карста, α – некоторая степень, характеризующая нелинейность потока.

Благодаря подобному подходу можно получить решения для частных случаев, таких как продвижение фронта смачивания в ненасыщенной зоне почвогрунтов, движение влаги в этой зоне, при влажностях, близких к полному насыщению. Эти случаи являются ключевыми при построение моделей формирования стока, основанных на балансовых методах. С другой стороны, в случае карстовых водосборов, реализуется более корректное описание процессов формирования стока.

Выделение структур стока

При наличии изложенной выше методики, следует обратиться к выделению структур формирования стока. В качестве объекта исследования нами было выбрано Ижорское плато. Ижорское плато – большой карстовый массив, расположенный на Юго-Западе от города Санкт-Петербурга.

Особый интерес оно представляет потому, что на его территории имеется огромное количество водопотребителей: многие крупные города вокруг Санкт-Петербурга: Пушкин, Красное Село, Волосово, Гатчина, Кронштадт, имеют централизованное водоснабжение подземными водами. Поселки снабжаются питьевой и хозяйственной водой, главным образом, из одиночных буровых скважин и колодцев.

Так или иначе, это приводит нас к задачам ресурсов, решение которых подразумевает многофакторный подход, оценивающий множество параметров. В силу специфики рассматриваемого региона, в плане геологического строения, одним из наиболее важных элементов модели оценки, можно назвать тот блок, который будет описывать движение воды в определенных стоковых структурах, слагающих Ижорское плато.

Для выделения этих структур была произведена обработка цифровых моделей рельефа, разрешением в 1 арк секунду. Результат приведен на рисунке 1. Выбранная цветовая схема не имеет строгой дефиниции, но она позволяет выделить особые структуры, такие как линейные трещиноватые разломы, при более детальном приближении появляется возможность выделять различные макрокарровые структуры: гряды и желоба.

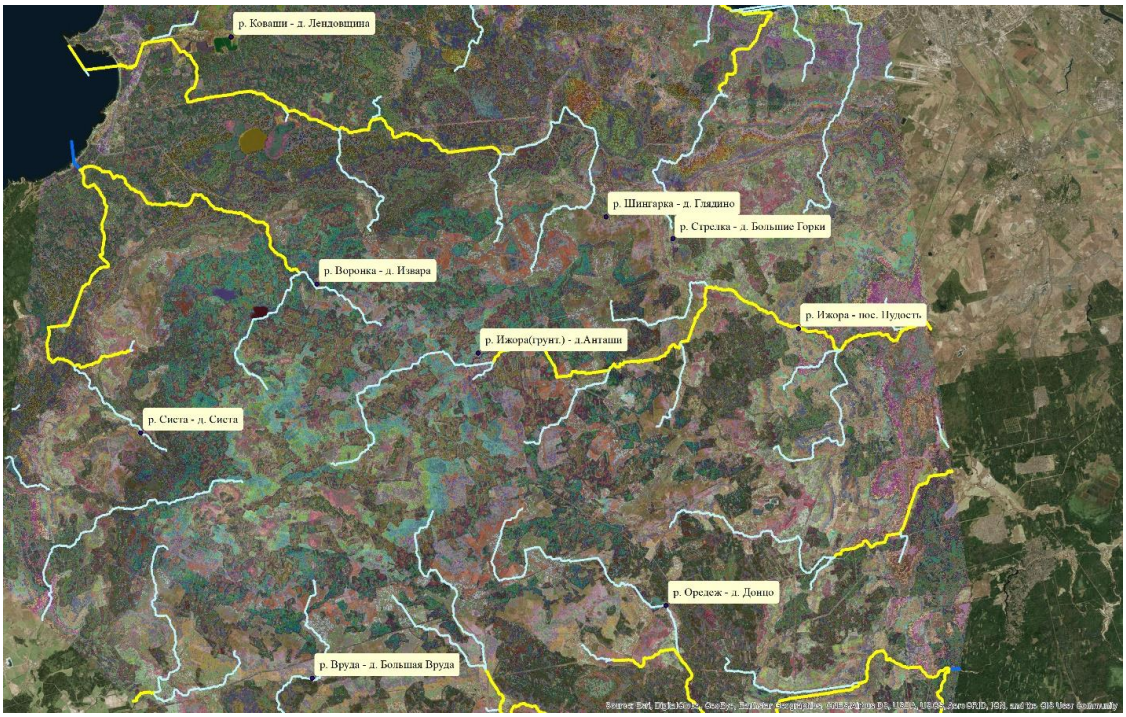


Рисунок 1 - карта-схема Ижорского плато в высотно-цветовой интерпретации.

После построения гидрографической сети, можно заметить, что некоторые водотоки имеют более развитую структуру, по сравнению с топографическими картами. Некоторые пункты, отмеченные на картах, находятся относительно близко к истоку реки, но по результатам этого анализа исток оказывается несколько отдален от них. Стоит обратить отдельное внимание на р. Ижора, расположенную в восточной части исследуемой области. Если «топографический» исток расположен относительно недалеко от пос. Пудость, то на этой обработке образуется дополнительная часть длиной ~ 60(!) км. Похожая картина «реко-рисования» наблюдается еще на нескольких водотоках: р. Оредеж, р. Воронка.

Конечно, это только первичный вариант картины и никто не отменяет ошибок алгоритмов, но построение рек, основывающееся на локальных понижениях, и генерализации потока по ним, дает в «сыром» варианте, результаты, которые позволяют иметь основание продолжать работу в этом направлении.

Заключение

«О дивный новый мир, — повторил он. –
О дивный новый мир, где обитают такие люди.
Немедля же в дорогу!»
«О дивный новый мир», Олдос Хаксли

Задачи прогнозирования гидрологических явлений, с целью выявления их существенных характеристик, приводит нас к необходимости пересмотрения подходов, развитых классической гидрологией.

Переход от простейших «невероятностых» расчетов к моделированию на основе достижений современных технологий, есть содержание гидрологии ближайшего будущего. Таким образом, в этой работе, являющейся начальным этапом реализации такого плана, было заострено внимание на методах описания, изучения и получения характеристик структур формирования стока, «незамеченных» классическими методами.

Questions of the subsurface water movement

***Abramov D.V.*[1], *Nikiforovsky A.A.*[2]**
[1]*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg*
[2]*Ltd Gidrotehproekt, Valday*
dmbrmv96@mail.ru

Abstract: There is no doubt that the formation of flow is one of the most important branches in hydrological modeling. Despite its importance, there are still unresolved problems. One of them is the interaction between ground and surface flows. There are many approaches, but not one of them does not describe the situation, if there is a special condition. Examples of such problems are quantitative descriptions of the processes of water exchange in karst formations, in the zone of active water exchange of the underlying surface when considering the genesis of floods and so on. It should be noted that the direct use of methods for solving geofiltration problems or those corresponding to an unsaturated zone is ineffective, since they rely on hard-to-determine and poorly verified sets of parameters.

We propose an approach to consider the proposed problems, in which both geographically distributed flow structures and the dynamics of moisture in them are considered together. The corresponding descriptions, based on physical principles, more closely correspond to both the physical nature of the phenomenon and the construction of effective algorithms for solving the problem mathematically.

As a subject of research, it was proposed to study the formation of water exchange in the karst massif Izhorskoye Plateau. The cluster structure of such an array, supposed as a result of consideration of geological processes, is accompanied by the existence of special, in fact fault zones, which has a small resistance to a possible flow. Thus, such objects are natural transport channels that determine the features of water exchange in the karst massif, and, consequently, the water regime of the associated hydrological objects.

We assume the presence of significant links between these zones of macro-fracture and morphological parameters of the surface, such as local depressions, ridges, ledges. The validity of this assumption should be checked by the correlation of the alleged zones with the existing hydrographic network, other water bodies, and so on. Identification of the morphological structure is made through the use of digital technologies, including the construction of special filters for elevation values of the digital elevation model, obtained as a result of our studies. Sources are open data, such as SRTM with a resolution of 1 arcsecond, and other data.

Keywords: Ground runoff; DEM; law of resistance; mathematical modeling; geomorphological structures; porous structures.

Особенности динамики водного потока приливного устья малой реки на примере реки Тамицы (бассейн Белого моря)

Алексеева А.А.
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва
anna-artemovna@yandex.ru

Аннотация: Представлены результаты комплексного исследования устья реки Тамицы, впадающей в Онежский залив Белого моря, к бассейну которого относится большинство приливных устьев рек России. Если устьевые области многих крупных рек можно считать относительно изученными, то устья малых рек, которые, с одной стороны, являются удобными полигонами для изучения динамики приливных процессов, а с другой – не являются полными аналогами устьев крупных рек, практически не исследованы.

В связи с этим основной целью работы являлось комплексное исследование мезоприливного устья малой реки Тамицы. Для достижения данной цели были выбраны такие методы, как комплексное полевое исследование (работы проводились в августе 2016 г., феврале 2017 г., августе 2017 г.) с использованием современного оборудования, одномерное моделирование с использованием полевых данных, а также непосредственные математические расчеты.

Были выявлены и описаны специфические черты водного режима устьевой области Тамицы. Наибольшее внимание было уделено исследованию динамики потока, являющейся основой при изучении комплекса устьевых процессов.

С использованием полевых данных, полученных по специальной методике, была произведена оценка членов уравнения неустановившегося движения, а также коэффициентов Кориолиса и Буссинеска, учитывающих неравномерность распределения скоростей в поперечном сечении потока, но опускаемых при расчетах. На примере произведенных расчетов обоснована необходимость учета инерционных членов уравнения движения и коррективов распределения скоростей при изучении неустановившегося движения в устьевых областях рек.

Также при разработке модели устьевого участка реки Тамицы была оценена применимость программного комплекса Mike 11 для моделирования приливного устья малой реки со сложным рельефом.

Ключевые слова: мезоприливная устьевая область; Тамица; Белое море; приливный цикл; система уравнений мелкой воды

Введение и теоретическая основа

Система уравнений мелкой воды, применяющаяся для описания неустановившегося потока в одномерном виде (система уравнений Сен-Венана) в одном из классических видов записи выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v|v|}{C^2 R} + \frac{\partial z}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial t} = 0, \end{cases} \qquad (1)$$

где $Q = wv$, а $w = w(z)$;

Так как при различных условиях движения воды члены уравнения неустановившегося движения имеют различную относительную значимость, особый интерес представляет оценка отдельно каждого из них:

$\frac{v|v|}{c^2R}$ – уклон трения («фрикционный член») - i_f; $-\frac{\partial z}{\partial x}$ – падение водной поверхности (геометрический уклон I); $\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}$ – локальное ускорение - i_{v_x}; $\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x}$ - конвективное ускорение - i_{v_t}.

Последние два из перечисленных членов называются инерционными, так как они отвечают за силу инерции, действующую в потоке. Многими исследователями доказывалось, что даже при значительных изменениях скорости потока во времени и по длине реки доля инерционных членов в сумме составляет не более нескольких процентов, поэтому в большинстве случаев ими пренебрегают и рассматривают уравнение движения в следующем виде: $\frac{v|v|}{c^2R} = -\frac{\partial z}{\partial x}$ (2) (Грушевский, 1969; Михайлов, 1971; Кучмент , 1972 и др.).

Так, на примере рассмотрения нагонных явлений в дельтах Невы, Дона и Днепра было показано (Михайлов, 1971), что даже при влиянии нагонов суммарный вклад инерционных членов составляет не более 10% относительно доли уклона трения. Однако в этом труде был сделан акцент на изучении нагонных устьев с колебаниями уровня до 2 м и диапазоном изменения скоростей до 1,0-1,5 м/с за сутки. В таких условиях значимость уклона трения действительно много больше, чем инерционных членов уравнения движения.

В условиях мезо- и макроприливных устьев гидравлическая ситуация и распределение сил в потоке могут быть совершенно иными. В последние годы исследователями все чаще поднимается вопрос о необходимости учета инерционных членов при рассмотрении движения потока (Мак-Доуэлл, 1983; Полонский, Горелиц, 1990 и др.) в определенных условиях. Например, при оценке членов уравнения движения для эстуариев Темзы, Мерси и Хугли (Мак-Доуэлл, 1983) суммарный вклад инерционных членов относительно доли уклона трения составил от 54 до 140%.

Другими двумя опускаемыми элементами уравнения движения системы уравнений Сен-Венана являются коэффициенты Буссинеска - α_0 и Кориолиса – α, с которыми уравнение выглядит следующим образом:

$$\frac{\alpha_0}{g}\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g}\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v|v|}{c^2R} = I \qquad (3).$$

Коэффициенты Кориолиса и Буссинеска являются коррективами, учитывающими неравномерность распределения скоростей в поперечном сечении потока, возникающую в естественных течениях.

Они вычисляются по следующим формулам:

$$\alpha_0 = 1 + \int_w \frac{\Delta v^2 dw}{\underline{v}^2 w} \quad (4); \qquad \alpha = 1 + 3\int_w \frac{\Delta v^2 dw}{\underline{v}^2 w} \quad (5).$$

Для «нормального» речного потока ввиду относительной однородности скоростей по площади сечения значения Δv^2 принимают малые значения, обращающиеся в близкие к нулю при делении на квадрат осредненной по потоку скорости. Однако в условиях реверсивных течений в моменты изменения направления движения структура потока такова, что квадрат отклонения скорости Δv^2 после деления на квадрат близкой к нулю средней скорости потока может достигать колоссальных значений.

В 1966 году были опубликованы результаты исследования Геологической Службы США, посвященного изучению коэффициента Кориолиса в открытых руслах. В ходе исследования, объектами которого являлись водотоки с расходами от 0,05 м^3/с до 18 000 м^3/с, были получены значения к-та Кориолиса от 1,03 до 4,70 (Hulsing et al, 1966).

Большинство современных гидродинамических моделей основывается на системах уравнений мелкой воды в упрощенном виде – без учета силы Кориолиса, ветрового воздействия, горизонтального градиента атмосферного давления и неравномерности

распределения скоростей в поперечном сечении потока. Данный вывод сделан на основе рассмотрения документаций таких комплексов, как SOBEK; RIVER_1D, STREAM_2D, MIKE 21, MIKE 3, DELFT 3D, TELEMAC-3D.

Исключение из рассмотренных составил программный комплекс Датского гидравлического института MIKE 11: в уравнении движения, заложенном в основу MIKE 11, присутствует коэффициент Кориолиса, определяющийся одной из набора функций (выбор зависит от задаваемых условий) (MIKE 11.A modeling...).

Описание объекта исследования

В качестве объекта исследования была выбрана устьевая область реки Тамица. Выбор был обусловлен репрезентативностью объекта для темы исследования (так как устье Тамицы является приливным), а также наличием достаточного количества натурных данных для численной оценки членов уравнения движения, коэффициентов Кориолиса и Буссинеска и последующего создания, калибровки и верификации моделей.

Тамица – река бассейна Белого моря, впадающая в Онежский залив.. Длина реки составляет 64 км, площадь водосбора ~ 465 км^2, средний уклон – 2,500 ‰.

Река Тамица была одной из рек, исследованных в экспедициях 2015-2017 гг., посвященным изучению устьев Белого моря. В ходе исследования было получено большое количество гидрометрических данных, в том числе: данных о пространственно-временном изменении уровней воды (граница распространения приливных колебаний в 2,5 км от устьевого створа, величина колебаний до 2,5 м), скоростей течения (от -0,2 до 0,4 м/с), расходов воды (от -17 до 25 м^3/с в устьевом створе) и режиме солености в устьевой области реки.

Методика исследования

Для исследования динамики водного потока устья Тамицы были, в первую очередь, произведены специальные комплексные полевые работы, включавшие в себя единовременное измерение уровней, расходов воды и скоростей течения за приливный цикл в двух створах - устьевом и в 500 м выше. Для проведения данных работ было использовано современное гидрологическое оборудование, позволяющее получать гидрологическую информацию с высокой степенью подробности и точности, такое как автономные цифровые регистраторы (логгеры) фирм Solinst (Канада) и Keller (Швейцария), акустик-доплеровские профилографы (ADCP) RiverRay фирмы Teledyne RD-Instruments (США).

Полученные данные об изменении уровней и скоростей течения были использованы для создания и верификации гидродинамической модели устьевого участка Тамицы, а также численного решения уравнения движения в полном виде для разных фаз приливного цикла.

Результаты и выводы

При разработке модели устьевого участка реки Тамицы была оценена применимость программного комплекса Mike 11 для моделирования приливного устья реки со сложным рельефом.

Модель занижает уровни в отлив в среднем на 40 см. Из-за низких уровней в отлив колебания уровней воды завышаются моделью приблизительно в два раза. Изменение уровней воды в прилив и время наступления полной воды воспроизводятся моделью правдоподобно.

Был сделан вывод о том, что данный программный комплекс является достаточно чувствительным к резким изменениям рельефа дна, что, вероятно, является причиной занижения уровней воды в отлив.

В связи с неудовлетворительными результатами моделирования распространения приливных колебаний вверх по руслу реки одной из задач настоящей работы было

поставлено изучение правомерности допущений и упрощений уравнения неустановившегося движения воды.

С использованием гидрометрических данных, полученных по описанной методике, была произведена оценка членов уравнения движения и коэффициентов Кориолиса и Буссинеска. Были получены значения коэффициента Буссинеска от 1,20 до 83,6; коэффициента Кориолиса - от 1,61 до 249. В таблице 1 представлены оцененные значения членов уравнения движения без учета неравномерности распределения скоростей по поперечному сечению потока и с введением коррективов; также произведена оценка вклада инерционных членов в структуру уравнения движения относительно доли уклона трения – для изученного цикла она составила от 0,30 до 1170%. Видно, что в некоторые фазы приливного цикла инерционные члены даже до введения коррективов составляют значительную долю в структуре уравнения.

Таблица 1. Значения оценок членов уравнения движения при различных фазах приливного цикла для р. Тамицы (значения домножены на 10^5; серым выделены значения, полученные после введения коррективов)

Время	$\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}$	$\frac{\alpha_0}{g}\frac{\partial v}{\partial t}$	$\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x}$	$\frac{\alpha v}{g}\frac{\partial v}{\partial x}$	$\frac{v\lvert v\rvert}{c^2 R}$	$\frac{v\lvert v\rvert}{c^2 R}$	$\frac{\partial z}{\partial x}$	$\frac{i_{v_x}+i_{v_t}}{i_f}\cdot 100\%$	
14:00	-0,52	-32,4	-0,01	-2,23	21,5	55,6	-20,9	2,48	62,3
14:15	-0,42	-10,4	0,02	1,57	3,84	12,2	-3,44	11,5	97,6
14:30	-0,24	-7,73	0,05	4,92	-1,54	1,08	1,73	19,0	1170
14:45	-0,04	-0,28	0,07	1,37	-0,98	-2,05	0,95	10,5	80,3
15:00	0,12	3,32	0,06	4,90	1,06	-6,98	-1,24	17,3	118
15:15	0,21	1,28	0,05	0,75	0,65	-1,13	-0,90	38,9	179
15:30	0,23	12,8	0,02	4,07	-1,77	-18,4	1,51	14,4	91,8
15:45	0,26	20,8	0,01	1,78	0,80	-21,5	-1,07	33,8	105
16:00	0,29	23,9	-0,01	-1,78	-0,85	-22,7	0,57	34,7	113
16:30	0,35	0,67	-0,03	-0,11	0,11	-0,14	-0,43	357	560
17:00	0,42	0,97	0,02	0,10	0,98	0,35	-1,42	44,4	306
17:30	0,39	0,47	0,17	0,28	5,85	5,66	-6,42	9,64	13,3
18:00	0,09	0,11	0,34	0,60	10,3	10,0	-10,7	4,17	7,09
18:30	-0,10	-0,12	0,30	0,48	21,1	20,9	-21,3	1,90	2,88
19:00	-0,17	-0,22	0,23	0,43	37,1	37,0	-37,2	1,08	1,77
19:30	-0,17	-0,22	0,15	0,29	61,2	61,1	-61,2	0,53	0,84
20:00	-0,16	-0,30	0,09	0,33	84,2	84,1	-84,1	0,30	0,75

Также были построены диаграммы, отражающие процентное соотношения членов уравнения движения до и после введения поправочных коэффициентов Кориолиса и Буссинеска (рис. 1).

Полученные при расчетах результаты свидетельствуют о том, что в определенных условиях при изучении неустановившегося движения воды нельзя использовать уравнение движения в упрощенном виде, опуская инерционные члены. Более того, в случаях возникновения подпора, обратных или реверсивных течений нельзя пренебрегать коррективами, учитывающими неравномерность распределения скоростей по поперечному сечению потока.

Дальнейшие цели и перспективы исследования

В рамках данного исследования также было решено произвести оценку применимости других модельных комплексов – отечественного Stream_2D, широко распространенного в России, и голландского Delft 3D, активно применяемого во всем мире.

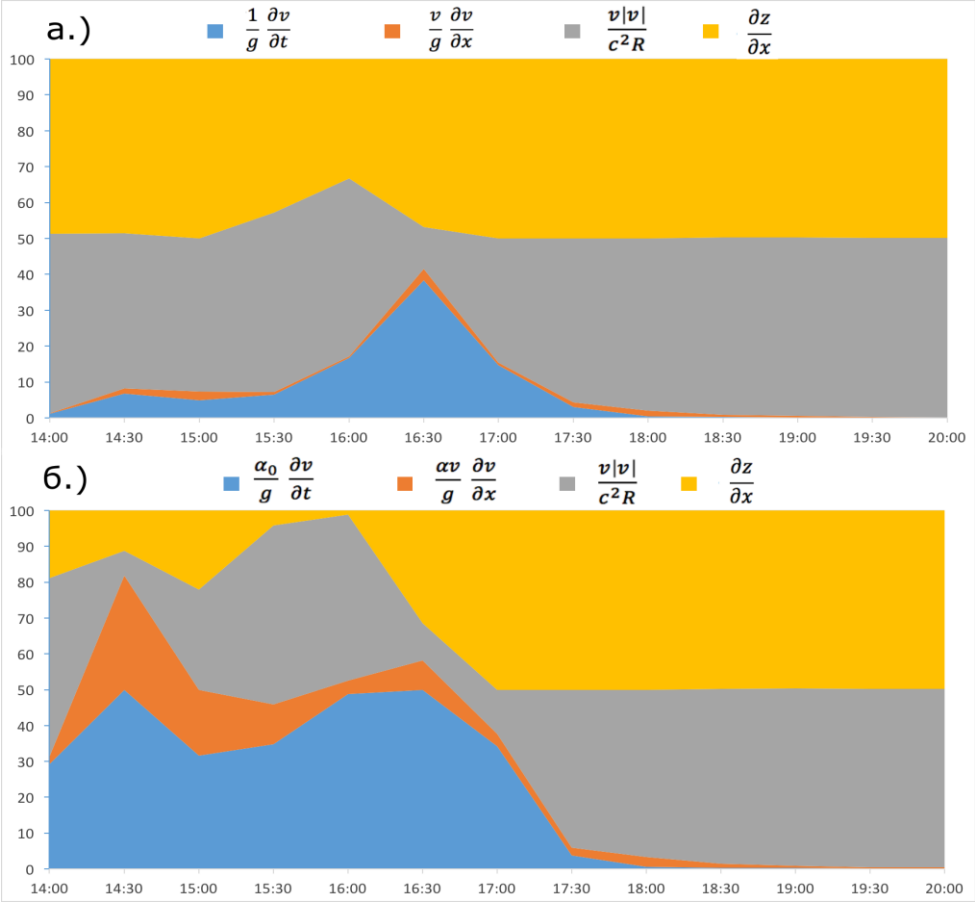


Рисунок 1. Рассчитанное соотношение членов уравнения движения при различных фазах приливного цикла для устья р. Тамицы а.) без учета, б.) с учетом коррективов распределения скорости

Список литературы

Грушевский М.С. Волны попусков и паводков в реках. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 340 с.

Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 188 с.

Мак-Доуэлл Д.М., О'Коннор Б.А. Гидравлика приливных устьев рек. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.

Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. М.: Издательство Московского университета, 1996. 88 с.

Михайлов В.Н. Динамика потока и русла в неприливных устьях рек. М.: Гидрометиздат, 1971. 260 с.

Полонский В.Ф., Горелиц О.В. Количественная оценка изменений структуры речного потока в приливном устье реки // Труды V Всероссийского гидрологического съезда, 1990. Том 9. С.189-195

Harry Hulsing, Winchell Smith, Ernest D. Cobb. Velocity-Head Coefficients in Open Channels // River Hydraulics. Geological Survey Water Supply Paper, 1966

MIKE 11. A modelling system for rivers and channels. Reference Manual // Mike by DHI, 2009

Hydrodynamics of small tidal estuary, the case study of the Tamitsa river (White sea basin)

Alekseeva A.A.
Moscow State University, Moscow
anna-artemovna@yandex.ru

Abstract: The results of a complex study of the mouth of the Tamitsa River flowing into the Onega Bay of the White Sea are presented. Specific features of the water regime of the estuary of Tamitsa were identified and described. Main attention was paid to the study of flow dynamics, which is the basis for studying the complex of river mouths processes.

Using the field data obtained by a special method using modern hydrological equipment, the applicability of the Mike 11 program complex for modeling the tidal river mouth with a complex relief was assessed. Also, the members of momentum equation were estimated, as well as the velocity-head coefficients, taking into consideration the unevenness of velocity distribution in the flow cross-section. The necessity of considering the inertial terms of momentum equation and velocity-head coefficients in studying the unsteady motion in the estuaries is justified on the basis of performed calculations.

Keywords: mesotidal estuary; Tamitsa river; White Sea; tidal cycle; shallow water equations

Проблемы мониторинга малых рек города Хабаровска

***Афанасьева М. И.*[1,2], Неудачин А.П.[1], Шестеркин В.П.[2]**
[1]*Дальневосточный государственный университет путей сообщений, Хабаровск,*
[2]*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск*
ms.marinafan@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены проблемы загрязнения вод малых рек города Хабаровска. Проведен сравнительный анализ данных 1998-2000 и 2017 гг. За двадцать лет состояние качества малых рек не улучшилось, а даже по некоторым показателям ухудшилось, что связано с расширением границ города и многоэтажной застройкой. В качестве решения проблемы может быть предложена расчистка русел малых рек, а также контроль за сбрасываемыми сточными водами.

Ключевые слова: Малые реки, гидрохимия, урбанизированные территории, малые водотоки, химический состав, поллютанты.

Введение

Современный город – это природно-антропогенная система. Основными элементами её являются человек и природная среда. Взаимодействие этих двух составляющих и создаёт уникальную урбоэкосистему – специфическое природно-антропогенное окружение. Каждый из этих элементов вынужденно оказывает влияние на другой. И совокупность этих, не всегда предсказуемых антропогенных факторов, может необратимо влиять на природную среду в целом и гидросферу в частности. В связи с продолжающимся ухудшением экологического состояния водосборных площадей урбанизированных территорий всё чаще и чаще возникает вопрос качества воды этих водных объектов.

Пришло понимание (Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года), что малые реки – это первоначальные звенья средних и крупных водных артерий страны, оказывают влияние на всю гидрографическую сеть, и составляют значительную долю водного фонда. Именно благодаря малым водотокам в черте города происходит питание рекреационных объектов: парков, лесопарковых зон и прудов. Водные объекты городских территорий испытывают большую антропогенную нагрузку, что, несомненно, негативно сказывается на их состоянии (Вуглинский В.С., и др., 2013). Порой малые водотоки города служат источниками водоснабжения для жителей частного сектора и используются для сельскохозяйственных и технических нужд. К сожалению, на большом протяжении городской техносферы эти водотоки имеют низкое качество воды, в том числе по органолептическим показателям. Они используются для сброса сточных вод предприятий, коммунальных вод, продуктов жизнедеятельности частного сектора, как «исторического», так и современного. Поэтому проблема охраны малых рек, их деградации заслуживает пристального внимания.

В г. Хабаровск мониторинг за качеством воды малых рек осуществляет ФГБУ «Дальневосточное УГМС» с 1975 г. в период открытого русла на р. Черная и Березовая. Согласно этим наблюдениям данные водотоки относятся к «очень грязным», 4 класса, разряду «в» вследствие сброса загрязненных сточных вод МУП «Водоканал» и ряда предприятий города. В 2016 году в р. Березовая поступило: аммонийного азота 41,6 т, нефтепродуктов – 4,57 т, фосфатов – 2,61 т, фенолов – 40 кг (Доклад…, 2017).

Из-за неполного централизованного водоотведения города в малые реки Черная, Полежаевка и реки Амур в районе г. Хабаровска ежегодно сбрасывается более 3,2 млн. куб. м неочищенных сточных вод (Постановление…, 2013).

Материалы и методы

Гидрохимические исследования осуществляли в октябре и декабре 2017 г. на территории г. Хабаровск. Для анализа были выбраны два водотока: река Березовая и река Чёрная. Эти реки дренируют восточную часть города. Ранее гидрохимические исследования проводились на данных водных объектах в 1997 – 2001 гг. (Шестеркин и др., 1999; Морина и др., 2003).

Пробы воды отбирали с поверхности. В пробах воды определяли значения pH, концентрации основных ионов, нитратного, нитритного и аммонийного азота, минерального фосфора.

При оценке степени загрязненности вод применяли значения предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения, принятые для Российской Федерации (Приказ…, 2016).

Результаты

В зимнюю межень водотоки превращаются исключительно в коллекторы сточных вод. Эти реки зимой не перемерзают, а лишь на некоторых их участках образуются наледи.

Характерной чертой городских рек является повышенные концентрации минеральных форм азота и фосфора, источником которых преимущественно являются сточные воды жилищно-коммунального хозяйства (Оношко и др.,1991). Согласно проведенным исследованиям (табл. 1) аммонийный азот является основной формой соединения азота в воде городских водотоков. Наибольшее значение данного вещества (44, 8 ПДК) наблюдается в реке Берёзовая в период зимней межени. Можно предположить, что данная река имеет восстановительную среду. Стоит отметить то, что содержание аммонийного азота за период 2001-2017 гг. в реке Берёзовой заметно увеличилось с 30,8 до 44,8 ПДК. В реке Чёрной содержание этого вещества составляло 30 ПДК → 38,6 ПДК. Рост концентрации обусловлен снижением разбавления и созданием анаэробных условий.

Табл. 1. Химический состав речных вод г. Хабаровска (1997 – 2017)

Дата отбора	Показатель, единицы измерений						
	pH	NH_4^-, мг/дм^3	NO_2^-, мг/дм^3	NO_3^-, мг/дм^3	Cl^-, мг/дм^3	SO_4^{2-}, мг/дм^3	HPO_4^{-2}, мг/дм^3
Река Берёзовая							
17.03.1997	-	9,50	0,023	0,14	25,9	21,0	1,110
15.12.1997	7,12	15,4	0,004	0,12	30,9	22,7	2,110
15.07.1998	7,04	8,02	0,032	0,35	54,9	14,3	3,660
6.09.1998	6,95	13,2	0,020	0,26	31,4	19,7	2,830
2.08.2001	-	13,4	0,030	0,34	23,4	38,6	3,990
31.10.2017	7,65	0,4	0,053	4,73	18	21	0,05
12.12.2017	7,46	22,4	0,058	0,20	60	55	1,27
Река Чёрная							
26.10.1997	7,16	5,66	0,12	4,40	30,8	10,0	1,960
16.06.2000	7,53	15,0	-	3,36	23,2	15,6	1,250
1.10.2000	7,43	3,39	-	0,71	22,6	21,2	0,015
31.10.2017	7,21	18,4	0,016	0,75	43	52	4,86
12.12.2017	7,07	19,3	0,005	0,24	52	33	17,10

Нитратная форма азота претерпела значительное снижение в реке Чёрная 4,40 мг/дм^3 → 0,24 мг/дм^3. Это может быть связано с уменьшением использования нитратных удобрений садовых участков. В реке Берёзовой осенью 2017 наблюдается повышение концентрации нитратного азота.

Содержание нитритного азота в водах малых рек связано с процессами нитрификации и денитрификации, а также минерализацией органического вещества (Морина и др., 2003). Его содержание колеблется в пределах от 0,004 – 0,058 мг/дм^3.

Поступление в воды соединений минерального фосфора обусловлено применением, прежде всего, моющих средств, а также фосфорных удобрений. Максимальная концентрация фосфатов наблюдалась в декабре 2017 года на реке Чёрная, что может быть связано со сбросом сточных вод прачечных.

Выводы

Анализируя данные современные и двадцатилетней давности можно сказать, что качество малых рек только ухудшилось. Лишь по некоторым показателям прослеживается снижение концентраций. Но по большему числу показателей наблюдается ухудшение качества воды. Стоит отметить, что наиболее опасный период для малых городских рек – это весеннее половодье. Именно в этот момент с талыми водами в водные объекты поступает большое количество загрязняющих веществ с водосборов.

Одним из факторов ухудшения качества воды является высокая интенсивность застройки близ данных водотоков. Постепенно, город уплотняется и расширяет свои границы. И там, где 20 лет ничего не было появляется жилой микрорайон с повышенным антропогенным воздействием.

Для решения проблем качества вод малых рек города стоит пересмотреть отношение к этим рекам. Необходимо проводить ознакомительные встречи с населением. Назрела необходимость очистки русел малых рек от мусора (автомобильные покрышки, бытовой мусор и т.д.).

Список литературы

Вуглинский В.С., Гронская Т.П., Литова Т.Э. Комплексная оценка гидроэкологического состояния водоемов урбанизированных территорий (на примере Санкт- Петербурга) [электронный ресурс]// http://sibnigmi.ru/GidroCongress

Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2016 году / под ред. А.Б. Ермолина. Ижевск: ООО «Принт-2». 2017, 226 с.

Морина О.М., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Иванова Е.Г. (2003) Проблемы качества малых рек г. Хабаровск и его окрестностей // Города Дальнего Востока: экология и жизнь человека: материалы конф. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, С. 104–106.

Оношко М.П., Ковальчик Н.В. (1991) Влияние свалок на накопление азота в водах // Геохимия техногенеза. Тез. Докл.II Всесоюзного совещания. Минск: ИГГ БССР. С. 217-219.

Постановление Администрации города Хабаровска от 01.11.2019 N 4440 «Об утверждении муниципальной программы «Улучшение экологического состояния города Хабаровска» на 2014 – 2015 годы», «Хабаровские вести», N 172, 08.11.2013

Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Шестеркин В. П., Шестеркина Н.М. (1999) Гидрохимия речных вод г. Хабаровска // Геохимические и биогеохимические процессы в экосистемах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 1999. С. 112–119.

Problems of monitoring headwaters in the city of Khabarovsk

***Afanaseva M.I.*[1,2], *Neudachin A.P.*[1], *Shesterkin V.P.*[2]**
[1]*Far Eastern State Transport University, Khabarovsk*
[2]*Institute for Water and Environmental Problems FEB RAS, Khabarovsk*
ms.marinafan@mail.ru

Abstract: Considered problems of the water pollution of small rivers of Khabarovsk. Comparative analysis of 1998-2000 and 2017. For twenty years, the quality condition of small rivers has not improved, and even some indicators worsened. This is due to the expansion of the city boundaries and multi-storey buildings. As a solution can be proposed dredging of small rivers, as well as monitoring of discharged wastewater.

Keywords: headwaters, water chemistry, urban land, minor stream, chemical constitution, pollutants

Парадокс правой излучины

***Виноградов А.Ю.*, Виноградова Т.А., Виноградов И.А.**
ООО Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», Валдай
gd@npogtp.ru

Аннотация: В статье описывается случайно выявленный эффект нестандартного поведения уклона свободной поверхности при прохождении рекой нескольких последовательных излучин в период весеннего половодья. При измерении уклонов водной поверхности вверх по течению от правой излучины, был зафиксирован обратный уклон по двум берегам на расстоянии 5-8 ширин реки. В статье дано описание условий прохождения рек через правые излучины, а также приведены результаты измерений уклонов водной поверхности, скоростей течения и длин распространения обратных уклонов на примере трех малых реках бассейна оз. Ильмень. В статье рассказывается о поведении уровня воды при воздействии инерционных сил при прохождении водным потоком излучин на выпуклых и вогнутых берегах, об образовании «мертвых зон» и зон обратного течения. В результате был сделан вывод, что река при прохождении правой и левой излучины ведет себя существенно по-разному.

Ключевые слова: уклон водной поверхности, отрицательный уклон, скорость течения, излучина, река, сила Кориолиса

Введение

На сегодняшний день одним из основных методов практического решения задач речной гидравлики является лабораторный.

Лабораторный метод исследования и физическое моделирование конкретных участков речных русел на жестких и деформируемых моделях широко используются при проектировании и эксплуатации различных речных инженерных сооружений. Считается, что отработка особенностей движения потока в лотках и физическое моделирование русла полностью удовлетворяет запросам инженерной гидравлики. С нашей точки зрения, в этом методе существует серьезная проблема искажения масштаба и по сравнению с математическим моделированием он более дорогостоящий.

При уменьшении модели русла 1:100, все входящие в уравнение Навье-Стокса величины также должны быть масштабно изменены, что приводит к необходимости изменить вязкость воды в 1000 раз (Клавен и Копалиани, 2011). Как правило, основное взаимодействие между руслом и потоком происходят в период половодья – когда вязкость воды увеличивается еще в 1,5 раза по сравнению с комнатной температурой, при которой проводятся лабораторные исследования.

Исходя из этих соображений, полевые исследования должны оставаться незаменимым инструментом при решении гидравлических задач. Тем более, что при проведении таких работ возможны неожиданные сюрпризы, преподнесенные нам природой.

Одним из таких замечательных сюрпризов оказалось нестандартное поведение уклона свободной поверхности при прохождения волны паводка (половодья) через излучину, названное нами парадоксом правой излучины. В предлагаемой статье рассмотрен уровенный режим свободной поверхности при прохождении потока через ***правую*** излучину.

Материалы

Рассмотрим прохождение реки через излучину, имеющую высокие незатопляемые берега. На закруглениях русла на единичный объем воды массой m, кроме силы тяжести,

действуют две инерционные силы – центробежная сила $F = \frac{mv^2}{R}$, направленная по радиусу кривизны русла в сторону вогнутого берега и сила Кориолиса $f_k = 2m \cdot v \cdot \omega \cdot \sin\alpha$. Здесь v — средняя скорость речного потока; R —радиус кривизны русла; ω – угловая скорость вращения Земли ($\omega = 2\pi/T = 7{,}29 \cdot 10^{-5}$ с$^{-1}$); $\alpha = 90 - \varphi$, φ – широта местности.

Под действием центробежной силы часть воды будет смещаться к вогнутому берегу, вследствие чего образуется поперечный уклон (Земляновский, 1988). Повышение уровня Δh у вогнутого берега (по сравнению с уровнем воды у выпуклого берега) определяется по формуле

$$\Delta h = iB = \frac{v^2}{gR} B$$

Аналогично, за счет влияния силы Кориолиса, у правого берега уровень воды повышается, а у левого — понижается.

Наблюдения проводились на трех малых реках бассейна оз. Ильмень: Полисть, Холынья и Порусья. На р. Полисть отметки свободной поверхности измерялись на двух правых излучинах, расположенных выше бывшего в/п Подтополье, р. Холынья – в месте расположения бывшего в/п Устье и на р. Порусья при трех различных уровнях в д. Минцево Поддорского р-на. Суммарное значение превышения отметок выпуклого берега над вогнутым (при правой излучине сила Кориолиса уменьшает воздействие центробежной силы, а при левой – наоборот, усиливает) приведено в 5 столбце табл. 1. Измеренные значения уровней по берегам приведены в 6 столбце. Остальные обозначения: R – радиус излучины, B – средняя ширина реки в излучине, v – средняя скорость течения, Q – измеренный расход воды, $h_{обр}$ – максимальное понижение уровня вверх по течению от правой излучины.

Таблица 1.Результаты наблюдений

река	R, м	B, м	v, м/с	$h_{сум}$, м	$h_{изм}$, м	$h_{обр}$, м	l, м	Q, м^3/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Порусья, отм. 58,98	13	13	0,38	0,016	0,021	0,03	80	6,1
отм. 58,93	13	13	0,36	0,013	0,019	0,013	100	5,9
отм. 58,74	13	11	0,32	0,009	0,013	0,015	80	4,9
Холынья	42	26	0,69	0,021	0,023	0,018	130	33,6
1 Полисть	43	49	0,72	0,035	0,039	0,021	296	89,0
2 Полисть	40	42	0,72	0,033	0,032	0,019	192	89,0

При измерении уклонов водной поверхности вверх по течению от излучины, нами был зафиксирован обратный уклон по двум берегам на расстоянии 5-8 ширин реки. Максимальная измеренная амплитуда уровня представлена в столбце 7, а дальность распространения эффекта – в столбце 8.

Нивелировка технического класса проводилась по урезным сваям различными приборами с различных стоянок и разными операторами. При изменении уровня (Порусья), высотное положение урезных свай корректировалось.

Внешне обратный уклон никак не проявляется, скорости течения остаются прежними, круговороты отсутствуют.

Парадокс не наблюдается при выходе воды на пойму и при малых уровнях, когда уклон свободной поверхности в усредненном виде повторяет уклон дна. При левой излучине эффект отсутствует. Отрицательный уклон перед левой излучиной наблюдается только по вогнутому берегу на протяжении примерно половины ширины

реки и сопровождается обратным течением. Тенденция же общего уклона вниз по течению сохраняется. Поскольку левая излучина никак не влияет на уклон свободной поверхности вверх по течению, то, предположительно, на ситуацию влияют какие-то дополнительные эффекты силы Кориолиса.

Выводы.

1. Правая и левая излучины работают по разному. Стрежень течения правой идет ближе к вогнутому берегу, левой – по выпуклому.
2. При подходе стрежневой струи к берегу излучины, от точки условного соприкосновения имеет место обратное течение. Например, у правой излучины р. Порусья ширина обратного потока, обусловленного обратным уклоном у вогнутого берега – 0,8-2 м; скорость течения 0,04-0,08м/с (в том же створе, при прямом течении в стрежне, скорости до 0,5 м/с). У левой излучины той же реки, соответственно – 1,5-3м; скорость 0,05-0,15 м/с (при прямом течении, скорости до 0,65 м/с). На Порусье, наличие «мертвых» (обратных) зон составляет до 25% от площади сечения реки в створе излучины, при расходах до 4 $м^3$/с. При увеличении скоростей в паводок до 1,2 м/с, ширина обратного потока возрастает до 4,5 м при скоростях до 0,25 м/с.
3. Ниже точки условного соприкосновения стрежня потока с берегом расположена застойная зона. При правой излучине она шириной 1-2 м, при левой – до 1 м.
4. Правая излучина создает эффект обратного уклона вверх по течению от излучины на расстоянии до 8 ширин реки, в зависимости от скорости течения.
5. Различная работа правой или левой излучины связана с Кориолисовой силой? Размеры застойной и обратной зон зависят от угла поворота и скорости течения реки при входе в излучину.
6. На сегодняшний день провести безукоризненный расчет найденного эффекта с точки зрения гидравлики нам не удалось.

В качестве иллюстрации парадокса правой излучины приводим измеренные отметки правого и левого берега р. Полисть в районе бывшего в/п Подтополье (рис.1).

Рисунок 1. Кривая свободной поверхности при прохождении рекой Полисть правой излучины в районе бывшего в/поста Подтополье.

Список литературы

Клавен А.Б., Копалиани З.Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса//Нестор-История. Санкт-Петербург, 2011, с.26-28.

Земляновский Д.К. Лоция внутренних водных путей// Транспорт, 1988,

The paradox of the right bend

Vinogradov A. Yu., Vinogradova T. A., I. A. Vinogradov
Gidrotehproekt Ltd, Valday
gd@npogtp.ru

Abstract: The article describes the accidental revealed the effect of non-standard behavior of the water slope. When measuring the slopes of the water surface upstream of the bend, a reverse slope was recorded along two banks at a distance of 5-8 widths of the river. The article analyzes the passage of various rivers through the left and right bend, as well as the results of measuring the slopes of the water surface, flow rates and propagation lengths of opposite slopes on three small rivers of the basin of the Ilmen. The article also describes the behavior of the water level on convex and concave banks, the formation of "dead zones" and reverse flow zones. As a result, it was concluded that the river under the passage of the left and right bend behaves quite differently.

Keywords: slope of water surface, negative slope, flow velocity, bend, river, Coriolis effect.

Опыт создания архива режимной гидрометеорологической информации на основе технологии CUAHSI ODM

Гончуков Л.В.[1,5,6], ***Макарьева О.М.*** [2,3,4]
[1]*Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Владивосток*
[2] *НПО «Гидротехпроект», Санкт-Петербург*
[3] *Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск*
[4]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
[5]*Институт водных проблем РАН, Москва*
[6]*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток*
gonchukovlv@gmail.com

Аннотация: В работе рассматривается опыт использования схемы базы данных CUAHSI ODM для создания архива гидрометеорологической информации различного типа и обобщения. Показано, что на основе предлагаемой схемы данных можно организовать информационную систему, обеспечивающую импорт и хранение данных, их визуализацию с помощью веб-приложения, предусматривающую организацию условного доступа различных пользователей к различным наборам данных, а также управление всеми необходимыми настройками. Для демонстрации возможностей системы были загружен тестовый набор данных режимной гидрометеорологической информации и данные специальных наблюдений Колымской ВБС, создан интернет-ресурс, предоставляющий к ним доступ с помощью веб- и ГИС-технологий.

Ключевые слова: CUAHSI ODM, база данных, веб-технология, архив

Введение

К настоящему моменту в различных научных организациях и исследовательских коллективах РФ накоплены большие объемы оцифрованных данных гидрометеорологических наблюдений. Объединение этих данных в общий информационный ресурс является одной из самых актуальных проблем российской гидрологии, решение которой связано с необходимостью выбора и использования единого стандарта для хранения и обмена данными. В настоящее время в среде профессионального сообщества гидрологов распространение получает технология, разработанная Консорциумом университетов по развитию гидрологии Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science, Inc. (CUAHSI) (Бугаец и др., 2013, Бугаец и др., 2017 Гончуков и др. 2015), в рамках которой разработана схема метаданных, позволяющая непротиворечиво описывать наблюдений ряда смежных научных дисциплин (гидрологии, метеорологии, гидрохимии, биологии и т.д.) и формат обмена WaterML принятый в качестве стандарта консорциумом OGC (Taylor, 2012). Целью исследования было создание на основе вышеуказанных технологий базы данных архивной и режимной гидрометеорологической информации, и разработка веб-интерфейса для доступа к ней.

Материалы и методы

В качестве методической основы использована схема БД CUAHSI ODM версии 1.1. (Tarboton, et.al., 2006). Для наполнения базы использовался архив метеорологических данных по станциям РФ (среднесуточная температура, сумма осадков, средняя относительная влажность, продолжительность осадков), архив суточных расходов на гидрологических постах сети Росгидромета и архив данных Колымской воднобалансовой станции (Makarieva и др., 2017). Для организации загрузки данных разработано

программное обеспечение, производящее прием на вход данных в формате текстовых файлов, выполнение декодирования входных файлов в термины CUAHSI ODM и сохранение полученных данных в базе. Предусмотрена организация очереди обработки входящих файлов, обеспечивающая большую устойчивость системы при обработке больших объемов данных. Множество файлов могут объединяться в zip-архив и обрабатываться сразу одним пакетом, существенно экономя время на загрузку файлов на сервер.

Предварительно в БД были внесены сведения о регистрируемых переменных, местах производства измерений, о принадлежности станций и постов к конкретным территориальным управлениям Росгидромета. Границы зон ответственности каждого управления были полученны на основе существующих границ субъектов РФ. Атрибутивная информация имеющегося в файле набора данных привидится к схеме метаданных CUAHSI ODM. В процессе обработки файлов, каждому прочитанному значению ставится в соответствие описание регистрируемой переменной (например: температура, воздух, среднесуточная, градусы Цельсия), места производства измерений (индекс поста, координаты, высота, УГМС и т.п.), дата измерения величины, дата записи значения в БД, указатель на источник информации и другие характеристики, предусмотренные схемой ODM. После загрузки данных на сервер декодирование и загрузка данных выполняется автоматически.

Результаты

Создан информационный ресурс http://database.hydrograph-model.ru (Рис. 1), предоставляющий доступ с помощью веб- и ГИС-технологий к данным стандартных метеорологических и гидрологических наблюдений для порядка 1500 станций и постов, а также к архивам специализированных наблюдений бывшей Колымской воднобалансовой станции. Инструменты обеспечивают возможность поиска необходимой информации, получения данных в виде рядов, просмотра атрибутивных метаданных. Пользовательский интерфейс системы реализован в виде веб-приложения, для использования необходим только браузер с поддержкой JavaScript и CSS.

Взятая за основу схема базы данных показала свою гибкость и возможность расширения. В ходе работы она была дополнена таблицами для организации авторизованного доступа, создания связи между пользователем и набором станций и постов, информация с которых ему доступна. Расширены возможности БД для хранения географических и геометрических объектов OGC (линия, полигон, точка) с возможностью использования для работы с ними стандартных методов библиотеки OSGeo GDAL (http://www.gdal.org/). Благодаря этому становится возможным использовать в СУБД функции ГИС для пространственного поиска с учетом проекционных преобразований и других функций пространственного анализа.

Выводы

Техническая концепция проекта позволяет создавать и поддерживать цифровые архивы данных единого формата с возможностью свободного обмена, обеспечить современную технологическую и информационную поддержку гидрологического моделирования и анализа, развивать синтетический бассейновый подход к гидрологическим исследованиям на основе объединения данных о самых различных природных характеристиках и процессах, содержащихся в различных источниках и форматах.

Проект реализован при поддержке РФФИ (грант № 15-35-21146 мол_а).

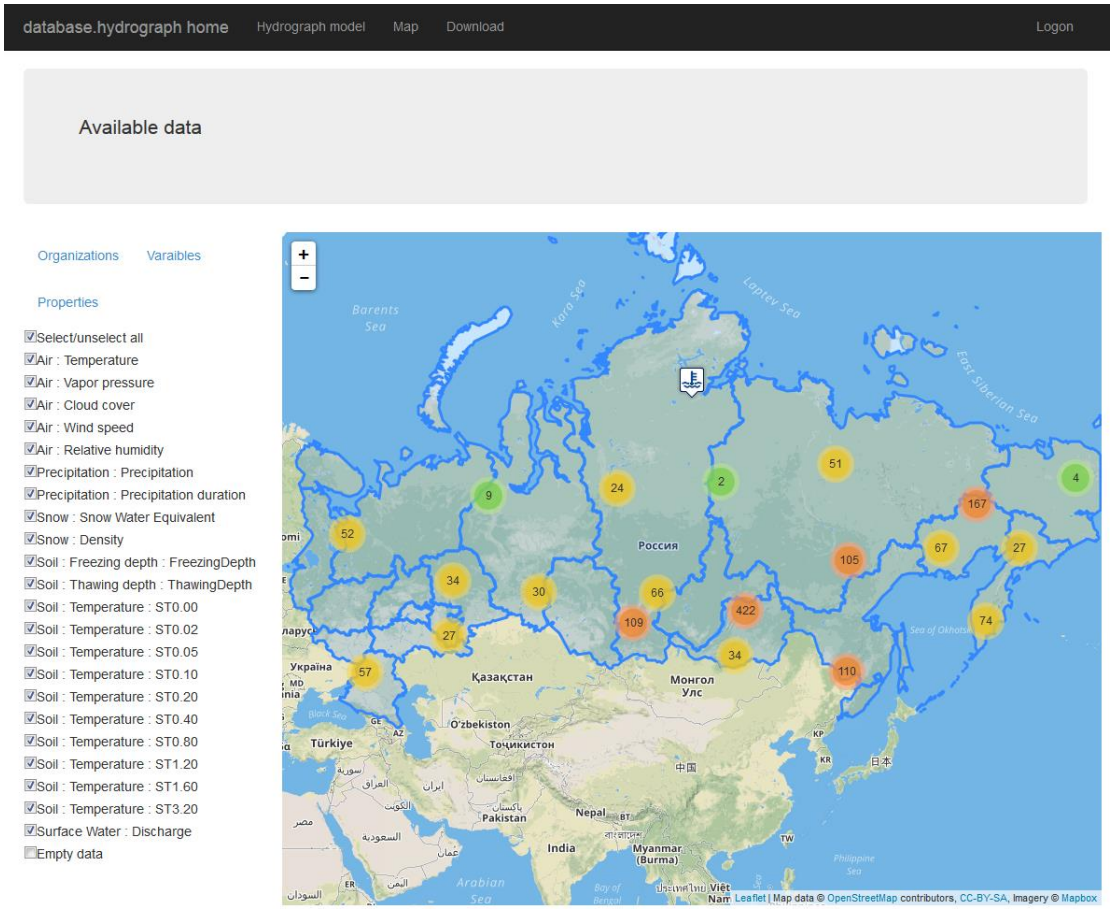


Рис. 1 Пример отображения каталога данных на карте

Список литературы

Бугаец А.Н., Гарцман Б. И., Краснопеев С. М., Бугаец Н. Д. Опыт обработки информации модернизированной гидрологической сети с использованием современной системы управления данными CUAHSI HIS ODM // Метеорология и гидрология. 2013. № 5. С. 91–101.

Бугаец А.Н., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Гарцман Б.И., Краснопеев С.М. Автоматизированная информационная система гидрологического мониторинга и управления данными // Метеорология и гидрология. 2017. № 3. С. 103-113.

Гончуков Л.В., Бугаец А.Н., Соколов О.В., Гарцман Б.И., Краснопеев С.М., Грущенко М.А., Ещенко А.Е. Гидрологический мониторинг и система управления данными // В сб.: Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии Международная научно-практическая конференция, памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова. 2015. С. 316-319.

Makarieva, O., Nesterova, N., Lebedeva, L., and Sushansky, S. Water-balance and hydrology research in a mountainous permafrost watershed in upland streams of the Kolyma River, Russia: a database from the Kolyma Water-Balance Station, 1948-1997 // Earth Syst. Sci. Data Discuss. 2017. С. 1–20.

Taylor P. OGC WaterML 2.0: Part 1-Timeseries. , 2012.

Tarboton, D.G., J.S. Horsburgh, D.R. Maidment, and B. Jennings. 2006. CUAHSI Community Observations Data Model Working Design Specifications Document – Version 4. http://www.cuahsi.org/his/docs/ODM4.pdf

Implementation of hydrometeorological archive dataset based on CUAHSI ODM technology

Gonchukov L.V.[1,5,6]***, Makarieva O.M.***[2,3,4]
[1]*Far Eastern regional hydrometeorological research institute, Vladivostok*
[2] *St. Petersburg State University, St. Petersburg*
[3]*Gidrotehproekt Ltd, St. Petersburg*
[4]*Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk*
[5]*Water problems institute of RAS, Moscow*
[6]*Pacific geographic institute of FEB RAS, Vladivostok*
gonchukovlv@gmail.com

Abstract: The paper considers the experience of using the database schema CUAHSI ODM in creation of hydrometeorological information archives of various types and generalizations. It is shown that, based on the proposed data scheme, it is possible to organize an information system that provides data import and storage and its visualization using a web application that provides conditional access for different users to different data sets, as well as managing all necessary settings. To demonstrate the capabilities of the system, a test dataset of regime-based hydrometeorological information and data from special observations of Kolyma WBS was uploaded. An Internet resource was created to provide access to it using web and GIS technologies.

Keywords: CUAHSI ODM, database, web technologies, archive

Оценка генетических составляющих уровней воды на основе методов математического моделирования

***Завьялова Е.В.*[1], Крыленко И.Н.[1,2], Сазонов А.А.[1,2]**
[1]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва*
[2] *Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург*
z.evdokia@mail.ru

Аннотация: Основанный в XII веке г. Великий Устюг на узле слияния рек Юг и Сухона с давних пор терпит ущерб от регулярных сильных наводнений. По данным с гидрологического поста Великий Устюг в период с 1877 по 2017 год город перенес 22 наводнения, из которых 5 наводнений, превысивших 9 м над «нулем» поста. Наводнения имеют смешанный стоково-заторный генезис.

На кафедре гидрологии суши Н.И. Алексеевским была разработана концепция, согласно которой, совокупность причин, определяющих формирование уровня воды, можно описать уравнением генетических составляющих уровня воды.

В рамках данной работы проведено выделение генетических составляющих уровней воды на основе методов гидродинамического моделирования. Выстраивая различные сценарии прохождения половодья в годы с наблюдавшимися наводнениями, можно оценить вклад каждого процесса в изменение уровня воды.

Для моделирования наводнений использовался программный комплекс STREAM_2D (авт. Беликов и другие), основанный на численном решении системы уравнений Сен-Венана в приближении «мелкой воды». Исследуемая область включала участки рек Юг и Сухона в узле их слияния, а также р. Малая Северная Двина до г. Котлас, общая протяженность участка моделирования составила 100 км.

Для оценки вклада различных генетических составляющих в поднятие уровня воды было проведено несколько сценарных расчетов. В результате анализа полученных данных была определена доля каждой генетической составляющей в общем поднятии уровня. По результатам моделирования, при максимальном затоплении в 1979 г. коэффициент генетической значимости заторной составляющей был равен 0,34, подпорной – 0,06, в 1981 г. коэффициент генетической значимости подпорной составляющей составил 0,14. В период спада половодья доля подпорной составляющей в общем подъеме уровня увеличивалась вследствие прохождения половодья на р. Юг, в эти даты коэффициент генетической значимости подпорной составляющей в 1979 г. достигал 0,13, в 1981 г. – 0,16.

Ключевые слова: наводнения, генетические составляющие уровней воды, подпор, ледовый затор, гидродинамическое моделирование.

Город Великий Устюг, основанный в XII веке в узле слияния рек Юг и Сухона, с давних пор терпит ущерб от регулярных наводнений. По историческим данным за 377 лет (1500–1877 гг.) в районе г. Великий Устюг зафиксировано 14 «выдающихся» наводнения, превышавших или достигавших 7-метровой отметки и среди них 2 (или три, так как отметку катастрофического наводнения 1517 г. невозможно определить), превышавших 10 м над меженным уровнем воды (Агафонова и Фролова, 2016) . По данным гидрологического поста (гп) Великий Устюг, с 1877 по 2016 гг. в узле слияния рек Сухона и Юг произошло 7 наводнений, превысивших 8-метровую отметку (1903, 1906, 1929, 1942, 1946, 1979, 1991 гг.) и 5 наводнений (1936, 1953, 1998, 2013 и 2016 гг.), превысивших 9 м над «нулем» поста (Агафонова и Фролова, 2016).

Наводнения в данном районе носят смешанный стоково-заторный генезис. Крутой изгиб русла р. Сухона в приустьевой части реки, а также перекатный участок на р. Малая Северная Двина (перекаты Аристовские, Бобровниковские и Голодаевские) способствуют практически ежегодному образованию заторов льда. Заторы, образующиеся на порожистых участках среднего течения р. Сухона, спускаются ниже по течению и останавливается в устьевой части реки. Также в годы, когда лед на рр. Сухона и Юг вскрывается одновременно или на р. Юг чуть раньше, создаются условия подпора, что препятствует выходу льда из Сухоны в Малую Северную Двину и вносит вклад в повышение уровней воды в районе г. Великий Устюг.

Для анализа вклада отдельных факторов в формирование поднятия уровня воды предлагается использовать разработанную на кафедре гидрологии суши географического факультет МГУ Н.И. Алексеевским концепцию выделения генетических составляющих уровней воды. Согласно данной концепции временная изменчивость уровня воды рр. Сухона, Юг и Малая Северная Двина учитывается генетическим уравнением (Алексеевский, 2004)

$$H=k_qH_Q+k_n\Delta H_n+k_з\Delta H_{nз}+k_p\Delta Z+k_{pp}\Delta H_{pp},$$

где H_Q- стоковая, $\Delta H_{nз}$ - заторная, ΔH_n подпорная, ΔH_{pp}- подземная, ΔZ- русловая составляющая уровня воды. Коэффициенты генетической значимости k_q, k_n, $k_з$, k_p, k_{pp} характеризуют вклад конкретного процесса в изменение уровня воды.

В данной работе выделение генетических составляющих уровней воды производится с помощью методов гидродинамического моделирования. Гидродинамические модели на основе данных о рельефе территории и входных расходах воды позволяют оценить пространственное распределение гидравлических характеристик потока. На основе сценарных расчетов появляется возможность, варьируя расходы воды и подключая отдельные блоки модели (ледовый, блок русловых деформаций), выделить вклад каждой из генетических составляющих уровней воды (Крыленко и др., 2017).

Для моделирования различных сценариев прохождения наводнения использовался программный комплекс STREAM_2D (авт. Беликов и др.)., основанный на численном решении системы уравнений Сен-Венана в приближении «мелкой воды». . Общая протяженность участка моделирования от узла слияния рр. Сухона и Юг до г. Котлас на р. Малая Северная Двина составляет примерно 100 км. Калибровка модели производилась по данным режимных наблюдений и показала хорошее соответствие результатов моделированию фактическим данным.

Рассмотрим вклад генетических составляющих уровней воды на примере динамики прохождения волны наводнений в 1979 и 1981 гг. В качестве входных данных на верхней границе модели на р. Сухона задавались расходы по гп Каликино, на р. Юг – по гп Гаврино, на нижней границе модели на р. Малая Северная Двина - уровни по гп Котлас.

При моделировании наводнения 1979 года рассматривался период половодья с 30 апреля по 27 мая, при моделировании наводнения 1981 года – с 1 мая по 7 июня. Для оценки вклада отдельных генетических составляющих в общее повышение уровней воды в районе г. Великий Устюг были проведены расчеты по следующим сценариям:

1. прохождение половодья 1979 г. с учетом ледового затора;
2. прохождение половодья 1979 и 1981 гг. без учета ледового затора;
3. прохождения половодья 1979 и 1981 гг. без учета ледового затора и подпора со стороны р. Юг.

Моделирование ледового затора подразумевает увеличение шероховатости в месте образования затора на даты его формирования, уменьшение средней глубины потока за счет заполнения русла льдом. Для расчета динамики прохождения половодья 1979 г. с учетом ледового затора коэффициент шероховатости на все участках образования заторов на время его формирования увеличивалась до 0,15, отметка дна увеличивалась на 2 м. При расчете без учета ледового затора и подпора со стороны р. Юг не подключался ледовый

блок, на входной границе модели на р. Юг расходы задавались в три раза меньше фактических для исключения влияния подпорной составляющей.

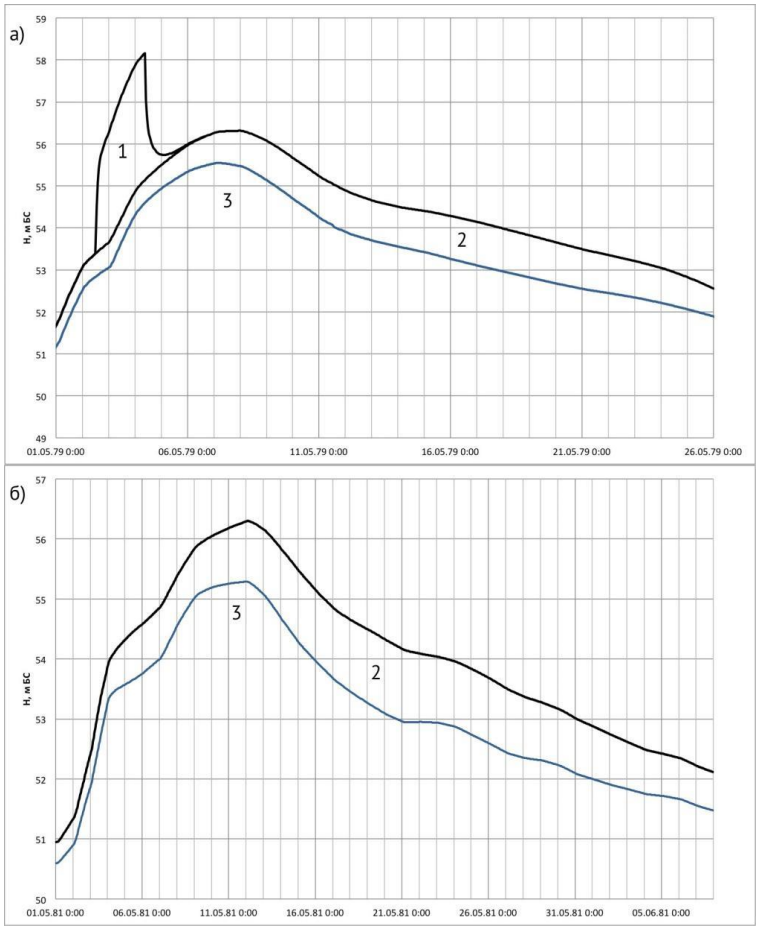


Рисунок 1. Выделение генетических составляющих уровней (1 – заторной, 2 – подпорной, 3 – стоковой) по гп Великий Устюг за период половодья в 1979 (а) и 1981 (б) гг. на основе методов математического моделирования

В период максимальных уровней воды 3-4 мая 1979 г. на вклад заторной составляющей (2,9 – 3 м) приходилось около 34% от общего поднятия уровня воды над нулем уровня поста. Величина вклада подпорной составляющей в этот же период составила 0,5 – 0,6 м (около 6 %). После прохождения ледового затора величина подпорной составляющей к 8 мая 1979 г. увеличилась до 0,8 м, что составило 9% от общего поднятия уровня. Далее при последующем падении уровня вклад подпорной составляющей увеличивался и достигал 1 - 1,1 м (13%), что связано с более поздним прохождением волны половодья на р. Юг по сравнению с р. Сухона.

Наводнение 1981 г. носило стоково-подпорный генезис. В период максимального поднятия уровня 10 – 11 мая 1981 г. величина подпорной составляющей составляла 0,9 – 1 м (14 % от общего поднятия уровня над нулем поста). На спаде половодья вклад подпорной составляющей увеличился до 1,1-1,2 м (16 %) в связи с прохождением волны половодья на р. Юг.

Таким образом, при максимальном затоплении в 1979 г. коэффициент генетической значимости заторной составляющей был равен 0,34, подпорной – 0,06, в 1981 г. коэффициент генетической значимости подпорной составляющей составил 0,14. В период спада половодья доля подпорной составляющей в общем подъеме уровня увеличивалась

вследствие прохождения половодья на р. Юг, в эти даты коэффициент генетической значимости подпорной составляющей в 1979 г. достигал 0,13, в 1981 г. – 0,16.

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ 17-11-01254

Список литературы

Агафонова С.А., Фролова Н.Л., Заторные наводнения на р. Сухона в районе г. Великий Устюг // В “Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики”, под ред. С. А. Сократова, том. 2. Лига-Вент Москва, 2016, pp. 56–65.

Алексеевский Н.И. Гидроэкология: теория и практика // Проблемы гидрологии и гидроэкологии, вып. 2. М.:Изд-во МГУ, 2004. с.334-349.

Крыленко И.Н., Сазонов А.А., Агафонова С.А., Оценка генетических составляющих уровней воды // Труды конференции Всероссийской конференции Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития. СПб.: Аграф+, 2017, с. 288–292.

Assessment of genetic components of water levels based on mathematical modeling methods

***Zavyalova E.V.*[1], *Krylenko I.N.*[1,2], *Sazonov A.A.*[1,2]**

[1]*Moscow State University, Moscow*

[2] *Saint Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg*

z.evdokia@mail.ru

Abstract: Great Ustyug has suffered damage from regular heavy floods for a long time. According to data from the Great Ustyug hydrological post, from 1877 to 2017 the city suffered 22 floods, of which 5 floods exceeded 9 m above the "zero" of the post. Floods have a mixed drainage-mash genesis. At the Department of Land Hydrology, N.I. Alekseevsky had an educated concept according to which the set of causes determining the formation of water level can be described by the equation of genetic components of water levels.

The basis of this work is the concept of separation of genetic components of water levels on the basis of hydrodynamic modeling. By building various scenarios for the passage of high water in the years with the observed floods, it is possible to assess the contribution of each process to the change in the water level. The program complex STREAM_2D (author Belikov and others), based on the numerical solution of the Saint-Venant system of equations in the "shallow water" approximation, was used for modeling floods. The modeling site includes sections of the rivers South and Sukhona at the site of their confluence, as well as the section of the Malaya Severnaya Dvina River to the town of Kotlas, the total length of the site is 100 km.

To assess the contribution of various genetic components to raising the water level, several scenario calculations were carried out. As a result of the analysis of the obtained data, the share of each genetic component in the overall level rise was determined. So, with the maximum flooding in 1979, the coefficient of genetic significance of the mash component was 0.34, the retaining ratio was 0.06, in 1981 the coefficient of genetic significance of the retaining component was 0.14. During the period of the flood recession, the share of the retaining component in the general rise in the level increased as a result of flooding on the river. South, in these dates the coefficient of genetic significance of the retaining component in 1979 reached 0.13, in 1981 - 0.16.

Keywords: Floods, genetic components of water levels, backwater, ice congestion, hydrodynamic modeling.

Использование информационных технологий для оценки токсичности органических ксенобиотиков при мониторинге качества вод

Козлова М.А.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук, Москва
mblshok@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрена возможность применения информационных технологий в оценке опасности органических ксенобиотиков. На частных примерах показано, что современный уровень хемоинформатики и биоинформатики позволяет эффективно использовать расчетно-прогнозные методы для определения видов и дозовых характеристик токсичности органических соединений.

Ключевые слова: Оценка качества воды, органические ксенобиотики, расчет биологической активности, взаимосвязь «структура-активность».

Введение

Качество поверхностных вод играет существенную роль в сохранении водных экосистем, являясь одним из ключевых факторов, от которого зависит здоровье населения. В настоящее время существует мировая тенденция ухудшения качества вод, которая характерна и для России. Поэтому качество воды охраняется национальными законодательными актами, межгосударственными и международными соглашениями, контролируется специализированными организациями, обеспечивается разнообразными технологиями очистки и т.д.

Важное место в сфере управления качеством воды занимает моделирование процессов формирования и изменения качества вод в естественных водоемах и водотоках, а также в системах водоподготовки питьевых вод. Помимо традиционных характеристик качества воды, в последние десятилетия появилась возможность прогнозирования биологической активности загрязняющих воду веществ, включая ее изменение при химической трансформации.

Развитие этого направления стимулируется двумя обстоятельствами. Во-первых, это стремительный рост массива химических веществ, в первую очередь, органических ксенобиотиков, причем их перечень непрерывно меняется, что приводит к необходимости разработки методики альтернативной оценки их токсичности, помимо экспериментальной. Во-вторых, это развитие хемоинформатики – научной дисциплины, возникшей в области между химией и вычислительной математикой, в рамках которой были разработаны методы построения баз данных химических соединений и реакций, для прогнозирования физических, химических и биологических свойств соединений и материалов, для поиска новых лекарственных препаратов, для предсказания хода химических реакций и др.

Компьютерное прогнозирование биологической активности

В настоящее время при решении задач фармакологии, в частности, при конструировании новых лекарств широко используются различные расчетные методы прогноза биологической активности соединений. Среди расчетных методов в настоящее время доминирует метод, основанный на взаимосвязи «структура-активность», а среди него - три методических подхода. Первый - квантово-химический, в котором, получаемый набор параметров (порядок связи, потенциал ионизации, реакционная способность, энергия резонанса и др.) описывает, в первую очередь, проявления химической

активности. Метод дает сведения об устойчивости и реакционной способности соединений, но требует дополнительной интерпретации расчетов.

Второй метод основан на взаимосвязи конкретных эмпирических и полуэмпирических формул с определенными видами биологической активности для определенных классов соединений. Этот метод позволяет получить количественную величину биологической активности, но только для тех классов соединений и видов активности, на которые полуэмпирические и эмпирические формулы ориентированы.

Третий - метод по похожести структур веществ с неизвестной и известной биологической активностью или с совокупностью известных соединений и статистической оценкой сходства путем описания анализируемой молекулы и веществ из обучаемой выборки дескрипторами, представляющими описание отдельных частей молекулы на формализованном языке с перекрытием этих частей. Обучающая выборка в дескрипторном анализе по схожести содержит экспериментальные данные об активности входящих в нее соединений, включая фармакологические и токсические виды активности, с указанием мишени, концентрации и ряда других особенностей проявления этой активности. Поэтому применительно к оценке ксенобиотического загрязнения целесообразно использовать именно дескрипторные методы, основанные на работе с обучающей выборкой.

В настоящее время существует несколько публично-доступных веб-сервисов, основанных на дескрипторном анализе, среди которых, например, Веб-сайт CPI-DRAR (https://cpi.bio-x.cn/drar/), SEA (http://sea.bkslab.org/), ChemSpider (http://www.chemspider.com/), SuperPred (http://bioinformatics.charite.de/superpred/) и PASS Online (http://pharmaexpert.ru/passonline). Все эти программы разработаны для скрининга и конструирования лекарств и никогда не использовались для прогноза биологической активности ксенобиотиков, выступающих как компоненты загрязнения вод.

Сравнение функционала названных публично-доступных веб-сервисов применительно к оценке опасности органических ксенобиотиков, где в качестве тест-соединений было выбрано 10 веществ из числа обнаруженных в источниках питьевого водоснабжения г.Москвы (например, холестерол, бензопирен, геосмин, глюцитол и др.), показало, что наиболее простым, понятным и эффективным является веб-сервис PASS Online, который позволяет производить первичный качественный анализ опасности соединения.

Кроме того, необходимо отметить, что существует и лицензионная версия программы PASS, которая расширяет возможности публично-доступной. Современная версия компьютерной программы PASS 2014 прогнозирует 7157 активностей на основе данных о 959801 соединений. Средняя точность предсказания, рассчитанная по методу исключения по одному, составляет 94,1 % (Filimonov et al., 2008; Filimonov et al., 2014). Список прогнозируемых PASS видов биологической активности включает в себя основные и побочные фармакологические эффекты, биохимические механизмы действия, специфическую токсичность, нежелательные мишени, и эффекты, связанные с метаболизмом, транспортом и влиянием на экспрессию генов. Прогнозируемые виды биологической активности можно расклассифицировать по уровням действия: целостный организм, отдельные системы организма (например, нервная), отдельные органы, ткани, клетки, субклеточные структуры, биохимические реакции или биомакромолекулы. Результатом прогноза в программе являются вероятности наличия и отсутствия конкретного вида активности.

Методы на основе обучающей выборки позволяют также прогнозировать и некоторые количественные характеристики токсичности. Например, по программе GUSAR можно провести расчет следующих экотоксикологических показателей - фактора биоаккумуляции, LD50 (средняя смертельная концентрация для дафнии и гольяна), IGC50 (концентрация полумаксимального ингибирования роста) для инфузории тетрахимена

пириформис, а также показателя острой токсичности LD50 для крыс (при разном способе введения в организм). Химическая структура вещества в GUSAR, как и в программе PASS, представлена дескрипторами, используемыми в программе PASS, и дескрипторами биологической активности, которые основаны на результатах прогнозирования в программе PASS (Lagunin et al., 2011).

Использование информационных технологий для оценки токсичности органических ксенобиотиков при мониторинге качества вод

При мониторинге качества вод с использованием сложной аналитической базы (например, хромато-масс-спектрометрической) возможно определение в водной среде огромного количества разнообразных химических соединений. При этом в российских нормативных документах установлены значения предельно допустимых концентраций (ПДК) не более чем для 3000 органических веществ. В этой связи актуальным кажется использование информационных технологий для предварительного прогноза опасности таких обнаруживаемых ксенобиотиков.

Так, например, общеизвестно, что нефть представляет собой смесь индивидуальных углеводородов. Ее токсичность надо определять не по интегральным показателям, а по опасности каждого из ее компонентов. При этом зачастую в водной пробе можно обнаружить такие нефтегенные углеводороды, для которых отсутствуют ПДК. В наших работах по расчету биологической активности индивидуальных углеводородов нефти были выявлены опасные свойства веществ, спрогнозированы некоторые количественные показатели токсичности.

Для органических соединений, обнаруженных в водных объектах – источниках питьевого водоснабжения Москвы, был проведен прогноз токсичности, который позволил ранжировать соединения по степени опасности. В табл. 1 приведены некоторые соединения, проявляющие определенный вид токсичности.

Табл. 1. Некоторые опасные свойства обнаруженных органических соединений

Канцерогены	**Мутагены**	**Тератогены**
Аценафтилен	Диэтиленгликоль	Генейкозан
Бензантрацен	Фенантрен	Дибутилфталат
Бензо(а)пирен	Флуорантен	Фенилуксусная кислота
Бис (2-этилгексил) фталат	4-хлоранилин	Холестанол
Гидрохинон	1,1,2,3-тетрахлор-1-пропен	2-этилгексилфталат
Эмбриотоксиканты	**Нейротоксиканты**	**Нефротоксиканты**
Бензо(а)пирен	Тимин	Кофеин
D-галактопираноза	1,1,2,2-тетрахлорэтан	Ксилитол
Диметилфталат	4-хлоранилин	Рибитол
Октадеканол	9-гексадецен-1-ол	Стигмастерол
Циклотетрадекан	Метиловый эфир 3-гидроксимасляной кислоты	Кампестерол

Среди всех обнаруженных соединений удалось выявить около 50 лекарственных вещества и около 40 их метаболитов, а также дать расчетный прогноз их возможных побочных действий на человека и некоторые виды гидробиоты. Диапазон концентраций выявленных лекарственных веществ в водных пробах от 1,5 нг/л до 0,32 мг/л.

Информационные технологии были применены для оценки биологической активности опасных органических соединений, загрязняющих Балтийское море и входящих в список

ХЕЛКОМ (Хельсинская комиссия - руководящий орган Хельсинской конвенции, основной задачей которой является сохранение Балтийского моря от источников антропогенного загрязнения). Для этих веществ были выявлены ранее неизвестные активности, а расчетные значения LD50 во многих случаях оказались сопоставимы с экспериментальными, представленными в базах данных. Особое внимание было уделено тем ситуациям, когда в различных базах данных, содержащих экспериментальные сведения о токсичности, отсутствуют существенные виды токсичности, прогнозируемые расчетными методами, например, канцерогенность. Таких соединений из списка ХЕЛКОМ оказалось 17 и очевидно, что результаты такого прогноза приводит к необходимости дополнительных экспериментальных исследовании и уточнения степени опасности этих веществ в списке ХЕЛКОМ (Safonova et al., 2016).

Программа GUSAR была применена для хлорорганических соединений, образующихся после дезинфекции сточных вод, а также обнаруживаемых в воде и донных отложениях р. Белой. По этой величине для каждого химического класса вещества ранжировались по их опасности (наиболее опасны вещества с минимальными прогнозными значениями LD50). Прогноз биологической (токсической) активности хлорорганических соединений хорошо отражает их реальные активности и представляет более расширенный список активностей, чем это дают экспериментальные исследования, скорее всего по причинам ограниченности видов токсичности, устанавливаемых в эксперименте. В тоже время было показано, что программа прогноза GUSAR плохо чувствует увеличение количества атомов хлора в молекуле, начиная с 3-х атомов, и не всегда реагирует на изменение положения атома хлора в циклических, в т.ч. ароматических группах таких соединений.

Выводы

В работе показано, что информационные технологии, включая расчетные методы прогноза биологической активности можно использовать для установления новых качественных или количественных данных о видах этой активности и концентрационных порогах определенных токсических эффектов и, в целом, для предварительной оценки токсичности соединений. Эффективность использования таких технологий была проверена на ряде примеров, включая анализ свойств органических ксенобиотиков, выявленных в ряде рек и водохранилищ московского региона, а также в Балтийском море.

Сравнение доступных веб-сервисов по прогнозу биологической активности соединений, а также систематизация имеющихся данных по возможности их использования выполнены в рамках гранта РФФИ № 17-05-00842 «Научное обоснование и разработка методологии оценки экологических рисков при загрязнении поверхностных водных объектов химическими веществами».

Список литературы

Filimonov D.A., Poroikov V.V. Probabilistic approach in activity prediction // Chemoinformatics Approaches to Virtual Screening. Cambridge (UK): RSC Publishing. 2008. P. 182-216.;

Filimonov D.A., Lagunin A.A., Gloriozova T.A., Rudik A.V., Druzhilovskii D.S., Pogodin P.V., Poroikov V.V.. Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the pass online web resource // Chemistry of Heterocyclic Compounds, 2014. V. 50 (3). P. 444-457.

Lagunin A., Zakharov A., Filimonov D., Poroikov V. QSAR modelling of rat acute toxicity on the basis of PASS prediction // Molecular informatics, 2011. V. 30. P. 241-250.

Safonova Anastasia S., Chiganova Maria A., Barenboim Grigory M. Applying of the Information Technologies for Toxicity Analysis of Organic Xenobiotics from an International List of the Baltic Sea Pollutants // Water Resources, 2016. Vol. 43. №2. P. 377-394.

Application of information technologies for organic xenobiotics toxicity assessment in monitoring of water quality

Kozlova M.A.
Institute of Water Problems of Russian Academy of Sciences, Moscow
mblshok@mail.ru

Abstract: The ability to use information technology in the risk assessment of organic xenobiotics considered. In the particular examples it is shown that the current level cheminformatics and bioinformatics makes good use of computer forecasting methods for determining species and dose characteristics of toxic organic compounds.

Keywords: Water quality assessment, organic xenobiotics, calculation of biological activity, “structure-activity” relationship

Оценка влияния климата и ландшафтных условий на процессы формирования стока в Татарстане (на примере двух водосборов)

Костерина Е.А.[1], Горбунова Ю.В.[2]
[1]Казанский (Приволжский) федеральный университет
[2]Институт проблем экологии и недропользования АН РТ
juliagorbunova18@mail.ru

Аннотация: Рассматриваются два сопоставимых по площади водосбора на территории Республики Татарстан (водосборы рек Актай и Мелля) с целью оценки влияния климата и ландшафтных условий на процессы формирования стока с помощью программного комплекса «Гидрограф». Подготовлены входные данные для проведения моделирования: расход воды, слой атмосферных осадков, температура воздуха, продолжительность выпадения атмосферных осадков, дефицит влажности воздуха, географические координаты, высота, ориентация (экспозиция) склона, уклон (крутизна склона), расстояние по русловой сети до замыкающего створа, растительные и ландшафтные характеристики, плотность и пористость почвы, максимальная водоудерживающая способность, коэффициент фильтрации, удельная теплоемкость и теплопроводность, показатель влияния льдистости на фильтрацию, вклад расчетных слоев почвы в общее испарение, температура почвы на глубине 1.6 м, толщина расчетных слоев почвы.

Ключевые слова: формирование речного стока, гидрограф стока, детерминированная гидрологическая модель, Республика Татарстан

Введение

В наше время комплекс гидрологических исследований невозможно представить без расчетов и моделирования гидрологических процессов. Методы моделирования гидрологических процессов нужны для таких исследований как расчеты расхода воды, оценка и управление водными ресурсами, решение практических проблем, связанных с наводнениями и засухами, эрозией почвогрунтов, переносом наносов, а также с загрязнением вод.

Целью данной работы является оценка влияния климата и ландшафтных условий на процессы формирования стока в Татарстане на примере двух водосборов (реки Актай и реки Мелля) с помощью программного комплекса «Гидрограф».

Объекты исследования

Для изучения выбраны два водосбора на территории Республики Татарстан, сопоставимые по площади.

Первый водосбор находится в бассейне реки Актай, с замыкающим створом на гидропосте с. Караваево (77201). Река Актай находится в Республике Татарстан и впадает в Куйбышевское водохранилище. Устье реки находится в 8.6 км по левому берегу Камского залива. Длина реки 81 км, площадь бассейна до гидропоста с. Караваево 690 км². Берёт начало в местности с абсолютными высотами до 177 м на западе Алькеевского района, расположенного на юге Республики Татарстан. Протекает по открытой равнинной местности Заволжской низменности. В верховьях течёт на северо-восток, далее постоянно сворачивает налево, образуя дугу, и лишь у самого устья резко меняет направление течения с юго-западного на северное. Климат умеренно-континентальный, с прохладной зимой и жарким летом. Среднегодовое количество осадков составляет 450-500 мм, среднегодовая температура 2.8°С. Часть территории района покрыта лесом. Водосбор расположен в зонах широколиственных лесов, а также лесостепи. Главный представитель

растительности широколиственной зоны − осина. Растительный покров в зоне лесостепей представлен разнотравно-ковыльными луговыми степями. Почвы представлены черноземами выщелоченными и темно-серыми лесными.

Второй водосбор находится в бассейне реки Мелля Республики Татарстан с замыкающим створом на гидропосте с. Михайловка (76520). Река Мелля − река в Татарстане, левый приток реки Ик. Исток реки находится в 4 км к юго-востоку от села Мальбагуш Азнакаевского района, расположенного на юго-востоке республики, а устье − около села Мелля-Тамак Муслюмовского района, который расположен на востоке Республики Татарстан. Длина реки 72.3 км, площадь бассейна до гидропоста с. Михайловка 770 км². Рельеф – возвышенная равнина. Характеризуется ярусностью, структурностью и резко выраженной асимметрией склонов. Характерен умеренно-континентальный климат с тёплым летом и умеренно холодной зимой. Среднегодовая температура воздуха составляет 2.4°С, среднегодовое количество осадков − 440-450 мм. Растительный покров представлен луговыми степями в сочетании с лиственными лесами и болотными лугами. Леса состоят из берёзы, осины, сосны, дуба, липы, вяза. Распространены чернозёмы выщелоченные и серые лесные почвы.

Сравнительные характеристики водосборов представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1. Сравнение параметров водосборов

ID	Название	Площадь водосбора ($км^2$)	Средняя отметка высоты (м)	Перепад высот (м)	Высота отметки гидрологического створа (м)	Средний годовой слой стока (мм)	Средний уклон (град.)	СФК (%)	
								1	2
77201	Актай	690	130	136	69.70	97	1.13	52.9	47.1
76520	Мелля	770	195	239	80.65	107	1.8	77.8	22.2

Гидрологическая модель «Гидрограф»

Детерминированная гидрологическая модель «Гидрограф» представляет собой математическую систему с распределенными параметрами, описывающую процессы формирования стока в бассейнах с различными физико-географическими характеристиками. Программный комплекс «Гидрограф» рассчитывает все процессы формирования стока, которые составляют наземный гидрологический цикл, а именно поверхностное, почвенное и подземное стокообразование, динамику почвенных вод, склоновую и русловую трансформацию стока. Дополнительно вычисляются переменные состояния моделируемой системы, например, температура и влажность почвы, температура воздуха, запас воды и плотность снежного покрова в любой репрезентативной точке. Расчетный интервал времени может быть любым. (Виноградов и Виноградова, 2010; Hydrograph model, 2017)

Параметризация модели «Гидрограф»

Оценку параметров расчетного бассейна предваряет выделение на территории водосбора однородных по типу формирования стока областей (стокоформирующих комплексов, СФК) и назначение репрезентативных точек (РТ).

Всего на водосборе гидропоста с. Михайловка на реке Мелля получилось 25 РТ, а на водосборе гидропоста с. Караваево на реке Актай – 22 РТ.

Разнообразие почвенно-растительного покрова в сочетании с рельефом создают условия формирования стока воды. Для выделения СФК производится анализ сочетаний различных типов почвы, растительности и топографических условий. Для каждого водосбора целесообразным оказалось выделить СФК двух видов. Как показано ниже, в водосборах есть участки с одинаковыми СФК, но есть и различающиеся участки.

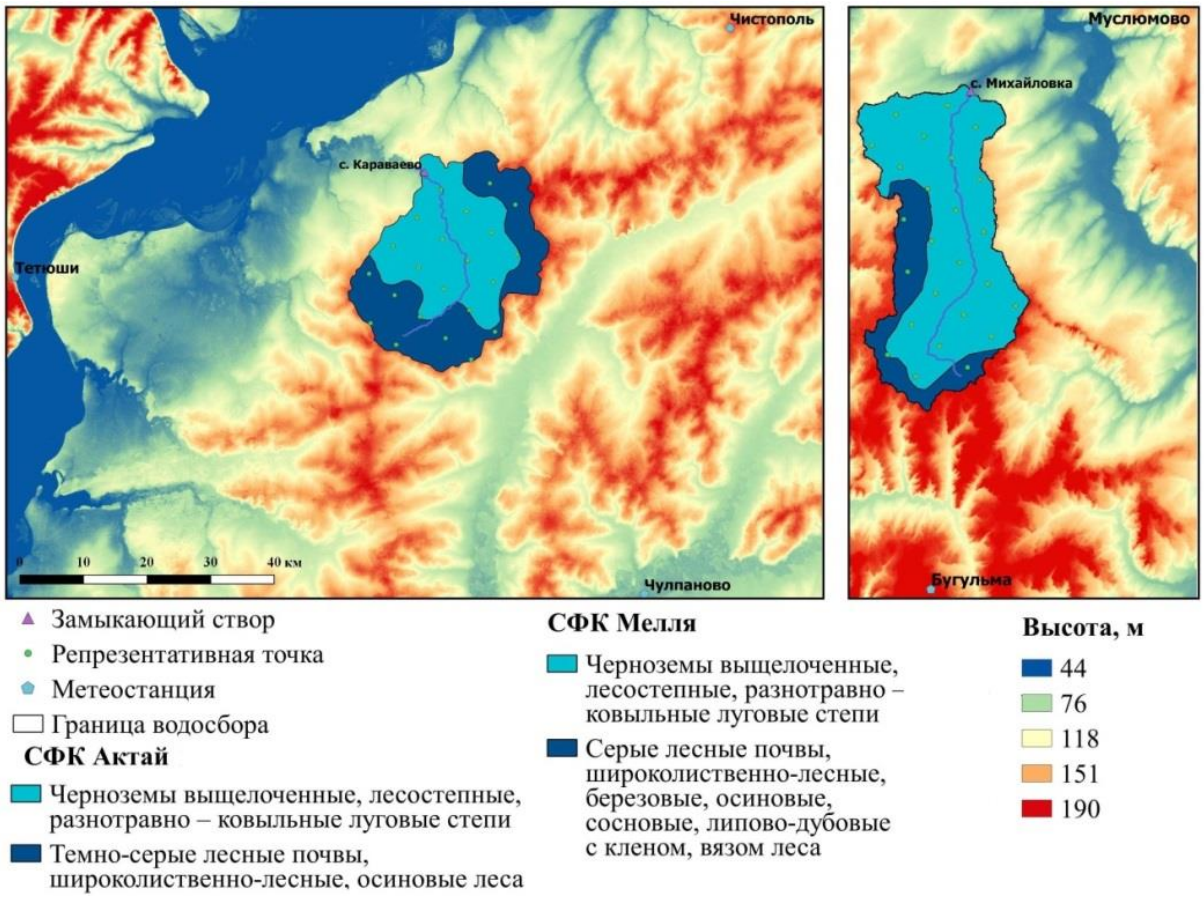


Рис. 1. Объекты исследования и распределение стокоформирующих комплексов по выбранным водосборам

1) СФК №1 для рек Актай и Мелля. Почвенный покров составляют черноземы выщелоченные. Мощность гумусового слоя равна 50-75 см. Механический состав выщелоченных черноземов − тяжелосуглинистый, иловато-крупнопылеватый. Содержание физической глины в верхних горизонтах колеблется от 50 до 57% (Колоскова, 1968). Растительный покров представлен разнотравно-ковыльными луговыми степями с доминирующими видами ковыль перистый (Stipa pennata), адонис весенний (Adonis vernalis), василёк русский (Centaurea ruthenica), резак обыкновенный (Falcaria vulgaris).

2) СФК №2 для р. Актай. Почва темно-серая лесная. Мощность гумусового слоя в темно-серых лесных почвах колеблется от 32 до 42 см. Механический состав темно-серых лесных почв − легкоглинистый, иловато-пылеватый. Количество физической глины в верхних горизонтах легкоглинистых разновидностей меняется от 52 до 60%. Следует отметить, что темно-серые лесные почвы, находящиеся под широколиственными лесами, часто подстилаются карбонатными юрскими глинами, характеризующимися более тяжелым гранулометрическим составом (Колоскова, 1968). На территории данного СФК преобладают осиновые (Populus tremula) неморальнотравяные, иногда остепненные леса.

3) СФК №2 для р. Мелля. Данный СФК характеризуется серыми лесными почвами. Гумусовый горизонт рассматриваемых почв характеризуется серой окраской, непрочно-комковатой структурой и имеет мощность около 25 см. Механический состав серых лесных почв − среднесуглинистый, иловато-крупнопылеватый. В пахотных горизонтах среднесуглинистых разновидностей содержание физической глины составляет 35-39%, ила 16-18% (Колоскова, 1968). Растительность СФК состоит из березовых (Betula pendula),

осиновых (Populus tremula), сосновых (Pinus sylvestris), липово-дубовых (Quercus robur, Tilia cordata) с кленом (Acer platanoides) и вязом (Ulmus glabra, U.laevis) лесов.

Метеорологическая информация для моделирования

Входной информацией в модель служат суточные значения температуры воздуха, дефицит влажности воздуха, количества осадков (обязательно) и продолжительности выпадения осадков (при наличии) для каждой метеорологической станции в пределах или вблизи речного бассейна (Semenova и Lebedeva, 2012). Были выбраны пять метеостанций в непосредственной близости от бассейнов, а именно для р. Актай − Тетюши (27697), Чистополь (28601), Чулпаново (28704), для р. Мелля − Бугульма (28711), Муслюмово (28611).

Далее планируется проведение моделирования формирования речного стока на выделенных водосборах и анализ влияния различных факторов на объемы речного стока.

Список литературы

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. – М: Академия, 2010. – 298 с.

Колоскова А.В. Агрофизическая характеристика почв Татарии. − Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1968. – 386 с.

Hydrograph model – Модель «Гидрограф». URL: http://www.hydrograph-model.ru/index.php?menu=2/. (дата обращения: 03.02.2018)

Semenova O., Lebedeva L. Hydrograph Model Manual Guide (preliminary version). – СПб, 2012. – 53 с.

Assessment of the influence of climate and landscape conditions on the processes of runoff formation in Tatarstan (by the example of two watersheds)

Kosterina E.A.[1], Gorbunova Yu.V.[2]

[1]Kazan Federal University

[2]Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences

juliagorbunova18@mail.ru

Abstract: Two comparable catchment areas in the territory of the Republic of Tatarstan (the watersheds of the Aktai and Mellya rivers) are considered to analyze the impact of climate and landscape conditions on the runoff formation processes using the «Hydrograph» software package. The input data for modeling were prepared: water flux, atmospheric precipitation, air temperature, duration of precipitation, air humidity deficit, geographic coordinates, elevation, slope, slope orientation, the riverbed length to the hydrological station, vegetation and landscape characteristics, density and porosity of the soil, maximum water-retaining capacity, filtration coefficient, specific heat and thermal conductivity, the ice influence at the filtration, the contribution of soil layers in evaporation, the soil temperature at the depth of 1.6 m, the thickness of the soil layers.

Keywords: river runoff formation, hydrograph, deterministic hydrological model, Republic of Tatarstan

Актуальные проблемы практического применения отдельных положений законодательных и нормативно-правовых актов Российской Федерации в области водных отношений

Костко В.В. Марков М.Л.
Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург
kostkovl@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы практического применения отдельных положений законодательных и нормативно правовых актов Российской Федерации в области водных отношений, накладывающих существенные ограничения на использование водных объектов и территорий, примыкающих к ним. Наибольшие вопросы, в рассматриваемом контексте, связаны с реализацией статей Водного кодекса Российской Федерации, касающихся, в первую очередь, установления береговой линии (границы водного объекта), определения гидрологического статуса прудов и обводненных карьеров, применения к болотам требований как к водным объектам, включая разработку нормативов допустимого воздействия и допустимых сбросов на болота. Предлагаются подходы к устранению существующих проблем и необходимость разработки дополнительных обоснованных гидрологических критериев.

Ключевые слова: береговая линия, пруд, обводненный карьер, болото, государственный водный реестр, нормативы допустимого воздействия, нормативы допустимых сбросов

Реализация положений Водного кодекса РФ (далее ВК) (Водный кодекс 2006) и связанных с ним положений нормативно-правовых актов, накладывающих определенные (порой существенные) ограничения на использование водных объектов и территорий, примыкающих к ним, актуальна, в первую очередь, при формировании земельных участков, граничащих с водными объектами, включая внесение их в Единый государственный реестр недвижимости, а также при определении гидрологического статуса прудов, обводненных карьеров и болот. Эта проблема затрагивает широкий диапазон как водных объектов, так и объектов недвижимости.

Как показывает практика, наибольшие вопросы, в рассматриваемом контексте, связаны с обоснованной реализацией следующих статей ВК и соответствующих им нормативно-правовых актов в области водных отношений:

- Установление береговой линии (границы водного объекта) (п.4 ст. 5 ВК);
- Определение гидрологического статуса таких водных объектов как пруд и обводненный карьер (п.2 ст.8 ВК);
- Применение к болотам требований как к водным объектам, исходя из их статуса, определенного ВК, включая разработку нормативов допустимого воздействия (далее НДВ) и нормативов допустимых сбросов (далее НДС) на болота (п.4 ст.5 и п.1 ст.57 ВК).

Установление береговой линии (границы водного объекта) осуществляется в соответствии с «Правилами определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев и периодичности ее определения», утвержденными Постановлением Правительства РФ от 29.04.17 №377 (далее Правила) (Постановление Правительства РФ от 29.04.16 №377).

Под определением местоположения береговой линии (границы водного объекта) в соответствии с Правилами понимается установление местоположения береговой линии

(границы водного объекта) или уточнение местоположения береговой линии (границы водного объекта). При этом установление местоположения береговой линии (границы водного объекта) осуществляется органами государственной власти субъектов Российской Федерации либо Федеральным агентством водных ресурсов и его территориальными органами в зависимости от статуса водного объекта. Уточнение же местоположения береговой линии (границы водного объекта) осуществляется любыми заинтересованными лицами, в том числе органами государственной власти и органами местного самоуправления, собственниками, пользователями и владельцами земельных участков.

Важно отметить тот факт, что в соответствии с Правилами **для установления местоположения береговой линии (границы водного объекта)** применяется **картометрический способ определения координат береговой линии (границы водного объекта)** с использованием актуального картографического материала наиболее крупного масштаба, а также данных дистанционного зондирования Земли, имеющихся в отношении соответствующей территории в федеральном или ведомственных картографо-геодезических фондах.

Требования же ВК в соответствии с Правилами реализуются только **при уточнении местоположения береговой линии (границы водного объекта**) поверхностных водных объектов, а именно:

а) береговая линия (граница водного объекта) моря определяется по постоянному уровню воды, а в случае периодического изменения уровня воды - по линии максимального отлива;

б) береговая линия (граница водного объекта) реки, ручья и канала определяется по среднемноголетнему уровню вод в период, когда они не покрыты льдом, с учетом уровней воды при руслонаполняющем расходе воды и морфологических особенностей водного объекта;

в) береговая линия (граница водного объекта) озера и обводненного карьера определяется по среднемноголетнему уровню вод в период, когда они не покрыты льдом, с учетом морфологических особенностей водного объекта;

г) береговая линия (граница водного объекта) пруда, водохранилища определяется по нормальному подпорному уровню воды;

д) береговая линия (граница водного объекта) болота определяется по границе залежи торфа на нулевой глубине.

Таким образом, при установлении береговой линии водного объекта актуализируется фактически только его плановое положение, а определение расчетного уровня, с которым связано установление границ водного объекта и, соответственно, границ общедоступной береговой полосы и границ водоохранной зоны производится только на стадии уточнения береговой линии.

Поскольку Правилами предусмотрено обязательное внесение сведений о местоположении береговой линии в Единый государственный реестр недвижимости, возникает вопрос о практической целесообразности первого этапа определения местоположения береговой линии (границы водного объекта) в виде ее установления, предусмотренного Правилами, учитывая значительные затраты на проведение таких работ и огромный объем работ по ее определению для всех водных объектов России.

Актуальность определения гидрологического статуса таких водных объектов как пруд и обводненный карьер связана с массовыми нарушениями, возникающими при межевании земельных участков. В частности, при межевании земельных участков в их границы очень часто незаконно включаются проточные пруды, водохранилища и обводненные карьеры. Это приводит к включению в состав земель различных категорий (земли поселений, промышленности, сельхоз назначения и др.)

В соответствии со статьей 8 ВК включение прудов и обводненных карьеров в состав земельных участков различных категорий земель, а на включение их в состав земель водного фонда, возможно лишь при соблюдении определенных условий. Главным условием является отсутствие у таких водных объектов проточности, т.е гидравлической поверхностной связи с другими водными объектами. Наличие или отсутствие проточности должно быть подтверждено экспертным гидрологическим и гидрогеологическим заключением (исходя из сложившейся судебной практики).

В соответствии с Федеральным законом «Об аквакультуре (рыбоводстве)» от 02.07.13 №148-ФЗ рыбоводные участки не выделяются на обводненных карьерах и прудах (в том числе образованных водоподпорными сооружениями на водотоках). К сожалению, ВК не дает расширенного определения понятия пруда. В соответствии с ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения»: водохранилище – это искусственный водоем, образованный водоподпорным сооружением на водотоке с целью хранения и регулирования стока, а пруд – мелководное водохранилище площадью не более 1 км^2. Учитывая весьма «размытое» существующее определение пруда, требуется убедительное гидрологическое обоснование при отнесении того или иного водного объекта к пруду либо водохранилищу. Таким образом, встает вопрос об отнесении конкретных малых водоемов к прудам либо водохранилищам, на которых может быть разрешено рыбоводство.

Применение к болотам требований, исходя из их статуса, определенного ВК, подразумевает распространение на них существующей нормативно-правовой базы в отношении водных объектов. Но, несмотря на то, что болота занимают более 10% территории России, а вместе с заболоченными землями – около 20% и они вовлечены в хозяйственную деятельность, до сих пор чрезвычайно слабо разработаны законодательные и нормативно-правовые документы по их использованию и охране. В действующем водном законодательстве применительно к болотам много противоречивых и неясных положений, который на практике толкуются не в интересах водопользователей и затрудняют осуществление мероприятий по охране этого вида водных объектов. К основным проблемам, связанным с болотами в рассматриваемом аспекте относятся следующие.

Проблема 1. На обширной территории России наблюдается большое разнообразие типов болот, от низинных засоленных на юге страны, до мерзлых полигональных и бугристых болот на ее севере. Выделено и дано геоботаническое описание по 26 болотным провинциям. Вместе с тем, в ГОСТ (4) дано только обобщенное понятие болот: “Природное образование, занимающее часть земной поверхности и представляющее собой отложение торфа, насыщенное водой и покрытое специфической растительностью”. Такое определение не дает различия между торфяниками, заболоченными землями, мерзлыми и талыми болотами, марями. Это приводит к произвольному отнесению территорий к той или иной категории, что не способствует рациональному использованию и охране этого вида водных объектов.

Проблема 2. В государственном водном реестре отсутствует раздел «болот». Это приводит к конфликтным ситуациям между землепользователями, инвесторами, природоохранными организациями и т.д. Не ясна и ответственность за эти территории. Согласно ВК (часть 1 статьи 5) болота определяются как поверхностные водные объекты и в соответствии со статьей 8 являются федеральной собственностью. Таким образом, администрации муниципальных образований не имеют полномочий распоряжаться этой собственностью. Закон РФ от 21.02.92 N 2395-I "О недрах" рассматривает болота как источник полезных ископаемых. Согласно этому закону (ст. 4) учет болот, как источников сырья, их использование в различных областях экономики и контроль за их использованием, находятся в ведении субъектов РФ. Решение проблемы использования и охраны болот может быть эффективным при внесении их в Государсвенный водный

реестр (ГВР). После этого использование болот будет регламентировано, как и других водных объектов.

Проблема 3. До сих пор нет методик расчета НДС (нормативно допустимого сброса) загрязняющих веществ на болота и поэтому в настоящее время отсутствует правовая основа, обеспечивающая охрану болот от загрязнения нефтью и нефтепродуктами, промышленными и сточными водами. Причина сложившегося положения - отсутствие ПДК (предельно допустимая концентрация) загрязняющих веществ для болот. Сохранение болот как водных объектов до сих пор остается нерешенной проблемой, требующей объединения усилий всех специалистов (геоботаников, биологов, гидрохимиков гидролого-болотоведов), имеющих к ней отношение. Болота практически не рассматриваются в выполненных почти по всей стране проектах схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) и разработке нормативов допустимого воздействия (НДВ).

Проблема 4. Несмотря на большой объем выполненных исследований болот в России до сих пор мероприятия по использованию и охране этих водных объектов не обеспечены в достаточной мере необходимой информацией, учитывающей их природное многообразие, нарушенность хозяйственной деятельностью, происходящих эволюционных процессов, связанных с изменением климата.

Так как водные объекты многообразны и вовлечены во все сферы хозяйственной деятельности, то решение рассмотренных проблем должно быть не только при совершенствовании отдельных положений водных законодательных и нормативно-правовых актов Российской Федерации, но и в области земельных, горных (недра), лесных, морских и других правовых отношений.

Список литературы

Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 №74-ФЗ (в ред. от 29.07.2017)

Постановление Правительства РФ от 29.04.16 №377 «Об утверждении Правил определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев и периодичности ее определения и о внесении изменений в Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов»

«Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 02.07.13 №148-ФЗ (в ред. от 01.07.2017)

ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения»

Actual problems of practical application of certain provisions of legislative and regulatory acts of the Russian Federation in the field of water relations

Kostko V.V., Markov M.L.
State Hydrological Institute, St. Petersburg
kostkovl@mail.ru

Abstract: The article discusses the problems of practical application of certain provisions of legislative and regulatory acts of the Russian Federation in the field of water relations that impose significant restrictions on the use of water bodies and territories adjacent to them. The most important issues in the context in question are related to the implementation of the articles of the Water Code of the Russian Federation relating primarily to the establishment of the shoreline (the boundary of a water body), the determination of the hydrological status of ponds and flooded quarries, the application to wetlands of requirements for both water bodies, norms of permissible impact and permissible discharges into bogs. Approaches are offered to eliminate existing problems and the need to develop additional valid hydrological criteria.

Keywords: Coastline, pond, flooded quarry, swamp, state water register, standards of permissible impact, standards for permissible discharges

Оценка элементов водного баланса крупных речных бассейнов на основе данных дистанционного зондирования Земли

***Лаптев А.С.*[1], *Журавлёв С.А.*[1,2], *Георгиевский М.В.*[1,2]**
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет*
[2]*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург*
alexeytob752@yandex.ru

Аннотация: Данные дистанционного зондирования Земли за последние два десятилетия обрели широкое распространение в практике решения гидрологических задач. На их основе формируются комбинированные наборы метеорологической информации, позволяющие качественно новым образом оценить основные элементы водного баланса крупных речных бассейнов. Особенно это актуально в условиях нерегулярных станционных наблюдений. Данная работа посвящена оценке применимости глобальных сеточных массивов гидрометеорологической информации в расчетах элементов водного баланса крупных речных бассейнов. Были выбраны комбинированный архив MSWEP v.2 об осадках, а также GLEAM v.3.1 об испарении. Кроме этого, отдельным аспектом данной работы является оценка применимости сеточных гравиметрических данных GRACE в расчетах аккумуляционной составляющей уравнения водного баланса.

Ключевые слова: Элементы водного баланса, сеточные данные, оценка точности, MSWEP, GLEAM, GRACE, реанализы, спутниковые данные

Введение

Современные глобальные сеточные массивы метеорологических величин, основанные, в том числе, и на данных дистанционного зондирования, могут выступать в качестве инструмента при количественной оценке основных элементов водного баланса крупных речных бассейнов. В данной работе на основе двух комбинированных сеточных наборов данных (об осадках и испарении) были произведены оценки элементов водного баланса на примере трех крупных речных бассейнов: р. Колыма, р. Иртыш, р. Нева. Также были применены спутниковые данные GRACE для оценки бассейновых запасов влаги как одного из членов уравнения водного баланса. Целью работы оценка применимости сеточных данных на примере крупных речных бассейнов РФ с разными условиями плотности сети метеостанций.

Материалы и методы

Уравнение водного баланса речного бассейна в классическом представлении имеет следующий вид:

$$Y_i = P_i - E_i \pm U_i \pm \delta \quad (1)$$

где Y – речной сток, P – осадки, выпавшие в пределах водосбора, E – испарение с площади бассейна, U – изменение бассейновых запасов влаги, δ – невязка водного баланса, i – шаг по времени.

Для учета осадков P как основного приходного элемента водного баланса был использован сеточный архив MSWEP v2 [1], а также, чтобы проанализировать целесообразность применения сеточных данных, использовались данные станционных наблюдений базы ВНИИГМИ-МЦД. В частности, были применены месячные суммы осадков с устраненными систематическими погрешности осадкомерных приборов [4]. Таким образом, в пределах рассматриваемых водосборов находятся 9, 14 и 16 действующих метеостанций для бассейнов Невы, Иртыша и Колымы соответственно.

Ввиду отсутствия регулярных, не приуроченных к немногочисленным воднобалансовым станциям наблюдений за испарением E в пределах исследуемых бассейнов, для оценки испарения были использованы только данные сеточного архива GLEAM [2], имеющего пространственное разрешение 0.25^o, временное – 1 сутки.

В качестве данных о речном стоке были использованы среднемесячные расходы воды в замыкающих створах исследуемых бассейнов (база АИС ГМВО): р. Нева – д. Новосаратовка, р. Иртыш – г. Ханты-Мансийск, р. Иртыш – г. Омск, р. Колыма – г. Среднеколымск. Сразу стоит отметить, что анализу подвергалась только часть бассейна р. Иртыш, заключенная между створами г. Омск – г. Ханты-Мансийск, большая доля которой лежит в пределах РФ. Расход воды Q [$м^3/с$] преобразован в слой стока Y за месяц [мм/месяц].

Также была проанализирована связь между аккумуляционной составляющей U как остаточного члена уравнения водного баланса (2) и гравиметрическими данными GRACE [4].

$$U = P - E - Y \quad (2)$$

Сеточный архив гравиметрических данных GRACE, основанный на спутниковых измерениях гравитационных вариаций на поверхности Земли, по сути, предоставляет информацию об изменении масс в ячейках $1^o \cdot 1^o$ с временным разрешением 1 месяц в виде эквивалентного уровня воды ЭУВ [см].

Элемент U рассчитывался как с использованием осредненных измеренных осадков ВНИИГМИ-МЦД, так и осредненными осадками из сеточного архива MSWEP в качестве входного элемента P_i.

Анализируемый период (2008-2015 гг. с шагом 1 месяц) обусловлен доступностью и качеством используемой исходной информации. Ежемесячный водный баланс речных бассейнов был рассчитан на основе данных разных источников: как с помощью традиционных станционных наблюдений, так и с применением сеточных данных. Метеоэлементы P и E, полученные из сеточных архивов с суточным разрешением, были просуммированы до месячных значений.

Результаты

Оценка применимости сеточных данных сконцентрирована на корреляционной связи (5) между U_i, полученного как: а) на основе только сеточных архивов P и E (3); б) с использованием измеренных осадков P (4), и данными GRACE.

$$U_i = P_{i(MSWEP)} - E_{i(GLEAM)} - P_{i(АИС\ ГМВО)} \quad (3)$$

$$U_i = P_{i(ВНИИГМИ\text{-}МЦД)} - E_{i(GLEAM)} - P_{i(АИС\ ГМВО)} \quad (4)$$

В таблице 1 представлен фрагмент подобных расчетов на примере бассейна р. Иртыш.

Для анализа связи между U_i и $ЭУВ$ использовался коэффициент корреляции Пирсона:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(U_i - \overline{U})(ЭУВ_i - \overline{ЭУВ})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(U_i - \overline{U})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(ЭУВ_i - ЭУВ)^2}} \quad (5)$$

На рисунках 1-3 представлены графики хода бассейновых запасов вод, полученных на основе разных источников, и гравиметрических данных GRACE

В таблице 2 приведены оценки связи между аккумуляционном членом уравнения водного баланса и данными спутниковой программы GRACE, по сути, отображающими изменения масс на водосборе. В первом случае, расчет U_i производился на основе только сеточных данных. Во втором – в качестве входной информации об осадках вместо данных массива MSWEP использовались осредненные по всему бассейну данные станционных наблюдений. Как можно увидеть из таблицы, применение сеточных данных, дает небольшое преимущество в региональных оценках элементов водного баланса.

Табл. 1. Расчет аккумуляционной составляющей, бассейн р. Иртыш, 2008 г.

Месяц	Осадки P, мм		Испарение, мм	Слой стока, мм	U_i (по ур-ю ВБ)		GRACE
	MSWEP	МСТ	GLEAM	АИС ГМВО	сеточные данные	сеточные+ станции	ΔЭУВ
Январь	4.9	14.2	-0.61	1.41	4.1	13.4	26.9
Февраль	19.5	35.5	0.68	1.57	17.2	33.2	46.4
Март	29.0	35.6	9.76	1.47	17.8	24.3	-13.6
Апрель	13.6	17.8	34.41	0.53	-21.3	-17.1	-2.6
Май	40.5	55.0	63.3	6.51	-29.3	-14.9	-12.1
Июнь	36.9	52.0	72.34	11.67	-47.1	-32.0	-51.2
Июль	52.5	59.6	80.3	8.88	-36.7	-29.6	-19.5
Август	40.2	68.2	47.28	3.98	-11.1	17.0	-8.9
Сентябрь	37.2	67.8	19.25	3.06	14.8	45.5	-9.1
Октябрь	21.4	23.4	3.94	3.51	13.9	16.0	17.7
Ноябрь	21.4	34.9	1.61	3.33	16.5	29.9	10.1
Декабрь	9.3	15.4	-1.5	3.59	7.2	13.3	32.8

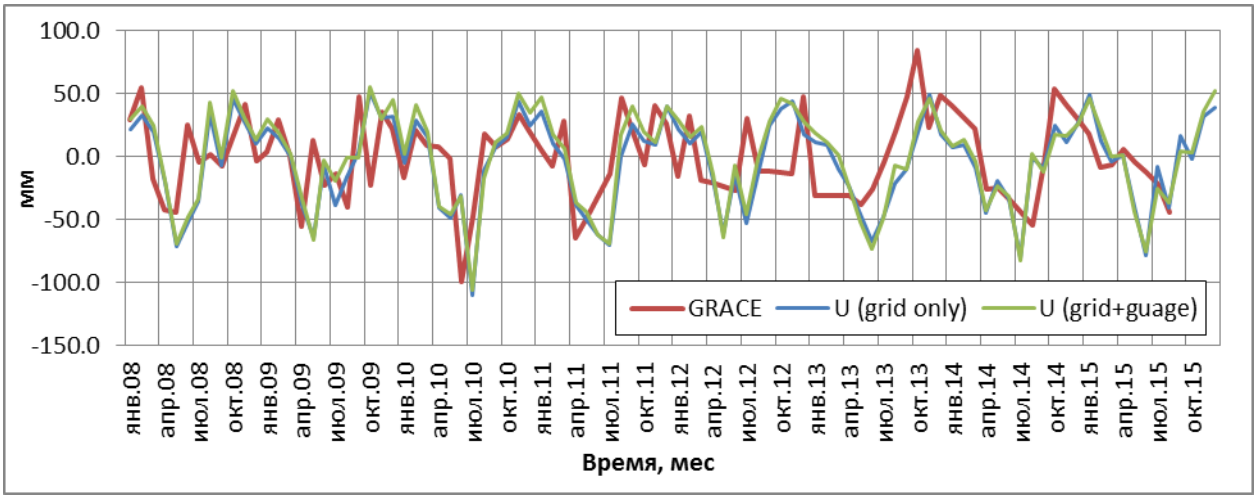


Рис. 1. Аккумуляционный член Ui и данные GRACE для бассейна р. Невы

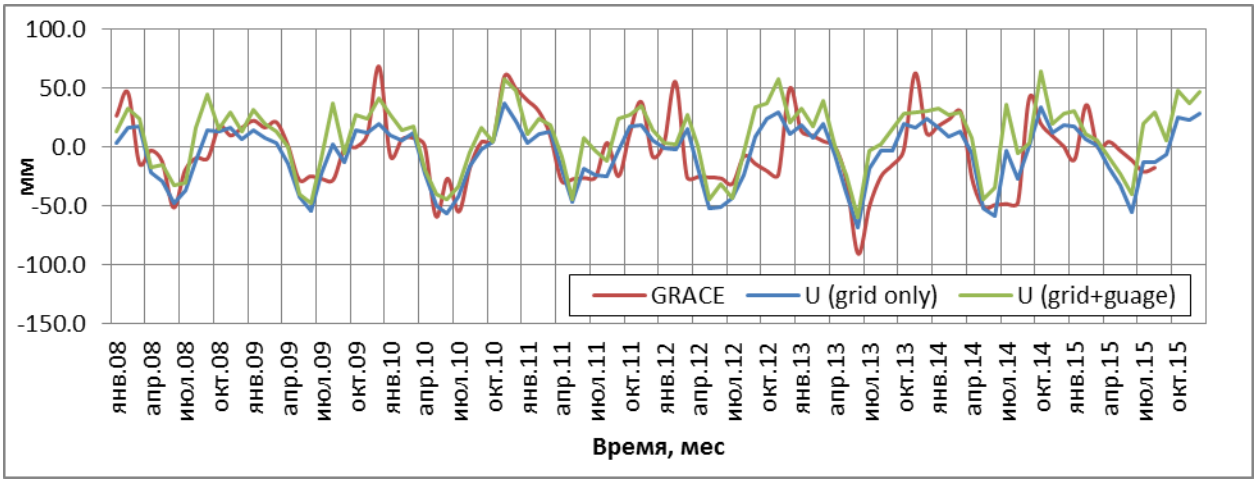


Рис. 2. Аккумуляционный член Ui и данные GRACE для бассейна р. Иртыш

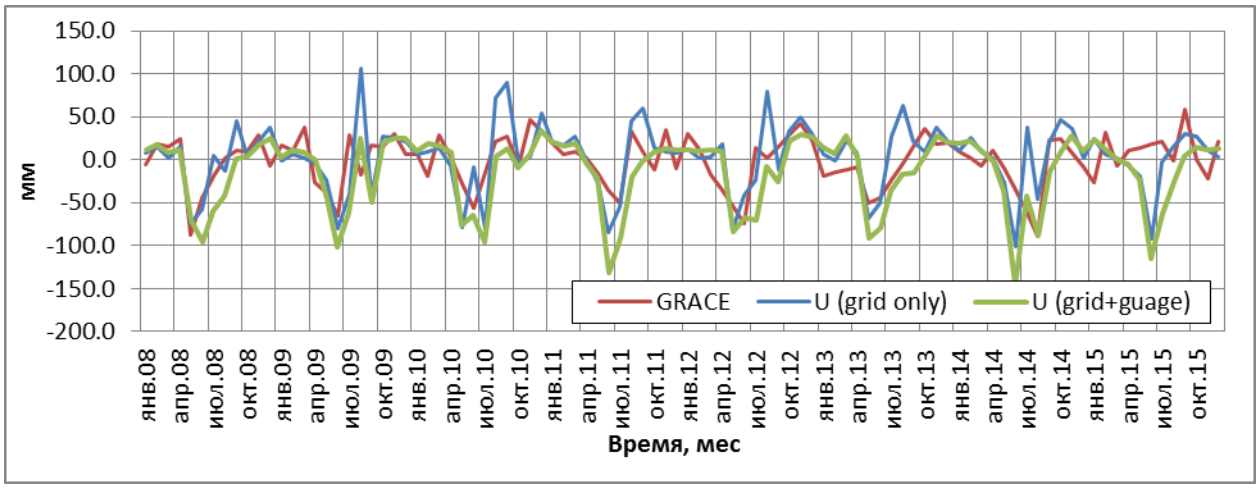


Рис. 3. Аккумуляционный член U_i и данные GRACE для бассейна р. Колыма

Табл. 2. Связь U_i и GRACE при использовании различных типов данных

U_i/GRACE	Коэффициент корреляции R		
	р. Нева	р. Иртыш	р. Колыма
Только сеточные данные	0.50	0.68	0.58
Сеточные данные + станционные наблюдения	0.49	0.58	0.51

Выводы

Установлена заметная сходимость гравиметрической информации с аккумуляционным членом уравнения водного баланса, полученного как остаточный член уравнения при включении сеточных данных об осадках и испарении как входных элементов для всех рассматриваемых речных бассейнов. Отмечено, что применение сеточных данных дает преимущество в региональных оценках элементов водного баланса даже на непродолжительном временном интервале. Безусловно, имеют место неточности как в сеточных архивах, так и в спутниковых гравиметрических данных. Тем не менее, это хорошая альтернатива нерегулярным точечным измерениям, проводимым на метеостанциях. Особенно это касается удаленных районов (например, бассейн р. Колымы), где на огромных территориях нет вообще никаких измерений метеоэлементов.

В то же время, элементы водного баланса, описывающие бассейновые запасы воды, в реальных условиях очень сложно определимы: необходимы комплексные наблюдения за влажностью почв, уровнем грунтовых вод, влагозапасом в снежном покрове, что в условиях крупного речного бассейна практически нереально осуществить. В этом случае, по мере развития спутниковых технологий, сеточные данные как альтернативный источник информации могут быть очень полезны в определении элементов уравнения водного баланса.

Работа выполнена при поддержке гранта РГО-РФФИ 17-05-41118 РГО_а

Список литературы

Beck, H.E., A.I.J.M. van Dijk, V. Levizzani, J. Schellekens, D.G. Miralles, B. Martens, A. de Roo: MSWEP: 3-hourly 0.25° global gridded precipitation (1979–2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data, Hydrology and Earth System Sciences, 21, 589-615, 2017

Martens, B., Miralles, D.G., Lievens, H., van der Schalie, R., de Jeu, R.A.M., Fernández-Prieto, D., Beck, H.E., Dorigo, W.A., and Verhoest, N.E.C.: GLEAM v3: satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture, Geoscientific Model Development, 10, 1903–1925, 2017.

Miralles, D.G., Holmes, T.R.H., de Jeu, R.A.M., Gash, J.H., Meesters, A.G.C.A., Dolman, A.J.: Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations, Hydrology and Earth System Sciences, 15, 453–469, doi: 10.5194/hess-15-453-2011, 2011.

https://grace.jpl.nasa.gov/ - web-страница набора данных GRACE

Ильин Б.М., Булыгина О.Н., Богданова Э.Г., Веселов В.М. Гаврилова С.Ю. Описание массива месячных сумм осадков, с устранением систематических погрешностей осадкомерных приборов. http://meteo.ru/data/506-mesyachnye-summy-osadkov-s-ustraneniem-sistematicheskikh-pogreshnostej-osadkomernykh-priborov

Estimation of water balance elements of large river basins based on Earth remote sensing data

***Laptev A.S.*[1], *Zhuravlev S.A.*[1,2], *Georgievsky M.V.*[1,2]**
[1]*St. Petersburg State University*
[2]*State Hydrological Institute, St. Petersburg*
alexeytob752@yandex.ru

Abstract: For the past two decades, the use of data on remote sensing became a widespread practice in hydrology. Combined sets of meteorological information based on this data give a new innovative way to assess the main elements of water balance of large river basins. This is especially true for irregular station observations. The thesis examines the applicability of global grid arrays of hydro-meteorological information to assess the elements of water balance of large river basins. For that, the MSWEP v.2 combined rainfall archive and the GLEAM v.3.1 evaporation archive were selected. In addition, a separate feature of the research is the analysis of the applicability of the grid gravimetric GRACE data to calculate the accumulative component of the water balance equation.

Key words: Elements of water balance, grid data, accuracy estimation, MSWEP, GLEAM, GRACE, reanalysis, satellite data

Способ расчета интегрального слоя осадков над акваторией Азовского моря

***Мишин Д.В.*[1], *Евстигнеев В.П.*[2], *Остроумова Л.П.*[1]**
[1] *Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва*
[2] *Севастопольский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Севастополь*
miwindv@gmail.com

Аннотация: В работе на основе данных спутникового зондирования Земли радиометром SEVIRI была построена статистическая модель пространственной связанности поля осадков над акваторией Азовского моря. Для восстановления интегрального слоя осадков над морем был определен набор из четырех метеостанций. Модель может быть применена при водно-балансовых исследованиях Азовского моря с использованием данных измерений на береговых метеорологических станциях.

Ключевые слова: слой осадков, статистические методы, Азовское море, SEVIRI, сеть метеостанций, водный баланс, корректировка измерений осадков.

Введение. Осадки, как один из основных факторов увлажнения поверхности Земли, являются важнейшей приходной составляющей водного баланса рек, водоемов, внутренних морей. Оценка слоя осадков представляет собой нетривиальную задачу, поскольку не существует исчерпывающей информации о том, насколько точечные измерения, проводимые на сети метеорологических станций, отражают истинную динамику выпадения осадков над водными акваториями. Высокая изменчивость осадков в пространстве, времени и интенсивности существенно ограничивают использование многолетних данных наблюдений наземной сети метеорологических станций в силу недостаточной ее плотности. В качестве альтернативы могут использоваться данные зондирования земной поверхности с орбиты геостационарных спутников, что обеспечивает освещение больших по пространству территорий и разнообразных по интенсивности процессов формирования осадков (Roebeling, Holleman, 2009).

Целью настоящей работы является разработка статистической модели пространственной связанности поля осадков над акваторией Азовского моря на основе данных дистанционного зондирования Земли для расчета интегрального слоя осадков над морем. В основу работы положена гипотеза о том, что пространственная связь, установленная по данным спутникового зондирования между отдельными локальными точками и интегральной характеристикой над акваторией моря, отражает объективную связанность поля осадков. В случае справедливости гипотезы уравнение пространственной связи, полученное по данным дистанционного зондирования, можно применять в практике водно-балансовых расчетов для оценки слоя осадков над Азовским морем по данным измерений наземной сети метеорологических станций.

Материалы исследования. В последнее десятилетие получили развитие алгоритмы извлечения данных о характеристиках осадков на основе зондирования земной поверхности микроволновыми и инфракрасными радиометрами (SSM/I, SEVIRI) (Kidd etc, 2010).

В работе использовались данные о суточном слое осадков радиометра SEVIRI, размещенного на Европейском геостационарном спутнике METEOSAT второго поколения. Массив суточных слоев осадков радиометра SEVIRI включает в себя данные за период с 01 января 2013 года по 02 сентября 2015 года с отдельными перерывами (всего 941 запись), представленным в пространственном секторе 32°-43°в.д. и 40.8°-47.5°с.ш., охватывающим Азовское море и восточную часть Черного моря. По данным SEVIRI были

составлены карты распределения суточных сумм осадков за отдельные даты (05.06.2013, 25.05.2014, 25.06.2015). Задача состояла в установлении связи (в первом приближении линейной) между оптимальным количеством метеостанций и интегральным слоем, рассчитанным по данным SEVIRI.

Следует понимать, что оценка параметров осадков с использованием SEVIRI являются непрямыми измерениями слоя, а только косвенными, полученными путем параметризации отдельных микрофизических и оптических параметров облаков и классификации информации, поступающей со спутника, а также сопутствующих метеорологических данных (Волкова, 2010, 2014). Поэтому валидация оценочных величин количества осадков SEVIRI по-прежнему проводится по данным прямых измерений осадков на сети метеорологических станций.

Таблица 1. Пункты наблюдения гидрометеорологической сети

№	Станция	Код	Широта, °	Долгота, °	Высота, м
P1	Мариуполь	34712	47	37.5	8
P2	Бердянск	34717	46.8	36.7	2
P3	Мысовое	33981	45.5	35.9	15
P4	Геническ	33910	46.17	34.82	15
P5	Стрелковое	33961	45.9	34.9	4
P6	Таганрог	34720	47.2	38.9	30
P7	Ейск	34727	46.8	38.3	3
P8	Приморско-Ахтарск	34824	46.03	38.15	3
P9	Опасное	33986	45.4	36.6	2

В таблице 1 представлен список береговых станций Азовского моря, характеристики которых использовались при расчетах. К сожалению, доступные массивы данных метеорологических наблюдений не позволяют провести сравнение прямых и спутниковых наблюдений. В связи с этим, можно лишь сослаться на работу (Волкова, 2014), где по данным 48 метеостанций юга Европейской территории России было показано удовлетворительное согласование данных SEVIRI/AVHRR с данными прямых измерений суточного количества осадков на метеостанциях. Кроме того, в этой работе показано неплохое согласование пространственно осредненных характеристик осадков, что обосновывает их использование в настоящей работе.

На основе этих данных была построена статистическая модель пространственной связанности поля осадков над акваторией Азовского моря методом множественной линейной регрессии. Во всех статистических тестах был принят 5% уровень значимости за исключением специально оговоренных случаев. Все расчеты проводились в специализированной программной среде статистического программирования R (R Core Team, 2012).

Статистическая модель пространственной связанности поля осадков. В первом приближении в настоящей работе рассматривалась линейная зависимость интегрального слоя осадков над Азовским морем P_{azov} от 9-ти локаций (см.ур.(1)), соответствующих месторасположению основных метеорологических станций региона. Множественная линейная зависимость слоя осадков над Азовским морем P_{azov} имеет следующий вид:

$$P_{azov} = a_0 + a_1P_1 + a_2P_2 + a_3P_3 + a_4P_4 + a_5P_5 + a_6P_6 + a_7P_7 + a_8P_8 + a_9P_9, \quad (1)$$

где P_1,P_2,P_3,P_4,P_5,P_6,P_7,P_8,P_9 – количество осадков в точках метеостанций (нумерация по списку станций в табл.1); a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9 – коэффициенты уравнения регрессии. Аддитивность модели была подтверждена тестом Тьюки, проверяющим наличие взаимодействия между факторами. Оценка параметров множественной линейной регрессии одним из известных методов – методом наименьших квадратов или максимального правдоподобия.

Однако выбранные предикторы могут быть недостаточно информативными для построения надежной регрессионной модели.

В результате применения специальных статистических тестов был определен оптимальный набор предикторов (4 локации) для восстановления слоя осадков над Азовским морем – «Бердянск», «Стрелковое», «Приморско-Ахтарск» и «Опасное».

В некоторых работах (Волкова, 2014) для улучшения качества восстановления данных об осадках по спутниковым данным в уравнениях использовалось слагаемое, отражающее внутрисезонную изменчивость осадков. Само по себе включение такого слагаемого в модель спорно, поскольку ряды осадков в локациях-предикторах модели уже содержат сезонную составляющую. Тем не менее, согласно расчетам, использование этой переменной может улучшить модель. Итак, в модель, представленную в данной работе, в качестве влияющего фактора включена трехмесячная изменчивость осадков. Прямым пересчетом был установлен оптимальный вид слагаемого $\sin\left(2\pi \times t/9\right)$, где t – порядковый номер декады в году.

Окончательный вид модели при коэффициенте детерминации R^2>98 %:

$$P_{azov} = 0.361 \cdot P_2 + 0.205 \cdot P_5 + 0.258 \cdot P_8 + 0.165 \cdot P_9 - 0.4 \cdot \sin\left(2\pi \times t/9\right), \quad (2)$$

где P_2 –«Бердянск», P_5 – Стрелковое, P_8 – Приморско-Ахтарское, P_9 – Опасное (см. табл.1).

В некоторых случаях пиковых осадков модель занижает их сумму, однако в среднем ошибка модели составила чуть более 1 мм.

Кроме того, для расчета интегрального слоя осадков над Азовским морем необходимо осуществить корректировку измеренных осадков на метеорологических станциях. С целью подтверждения данного тезиса, в нашей работе был произведен расчет действительных сумм осадков для указанных четырех станций Приазовья. Для получения действительных сумм осадков по месяцам и за год была использована их корректировка методом ГГО-КазНИИ за период 1976-2010 годы (Браславский и др, 1975). В среде статистического программирования R (R Core Team, 2012) был реализован код внесения поправок в исходные, первичные материалы наблюдений за осадками.

Обсуждение и выводы. Во многих работах показано (Богданова и др 2002; Браславский и др, 1975; Остроумова, 2014), что корректировка измеренных сумм, осуществляемая на метеорологических станциях, является недостаточной для получения действительных величин осадков.

С целью подтверждения данного тезиса, в данной работе были рассчитаны действительные суммы осадков для 4 станций Приазовья, используемых для восстановления интегрального слоя осадков над морем. Проведено сравнение полученных величин с метеорологическими данными, использованными в работе (Гидрометеорология…, 1991) (рис.1), обозначенными как метод «НОРМА» (по отношению норм осадков на береговых станциях и открытой части моря). Для получения действительных сумм осадков был использован метод ГГО-КазНИИ (Браславский и др, 1975), который наряду с методикой ГГИ-ГГО (Богданова и др, 2002) является точным способом корректировки осадков (Остроумова, 2014). Сравнение проводилось по среднемноголетним суммам осадков за месяц и за год, рассчитанным за период 1976-2010 годы.

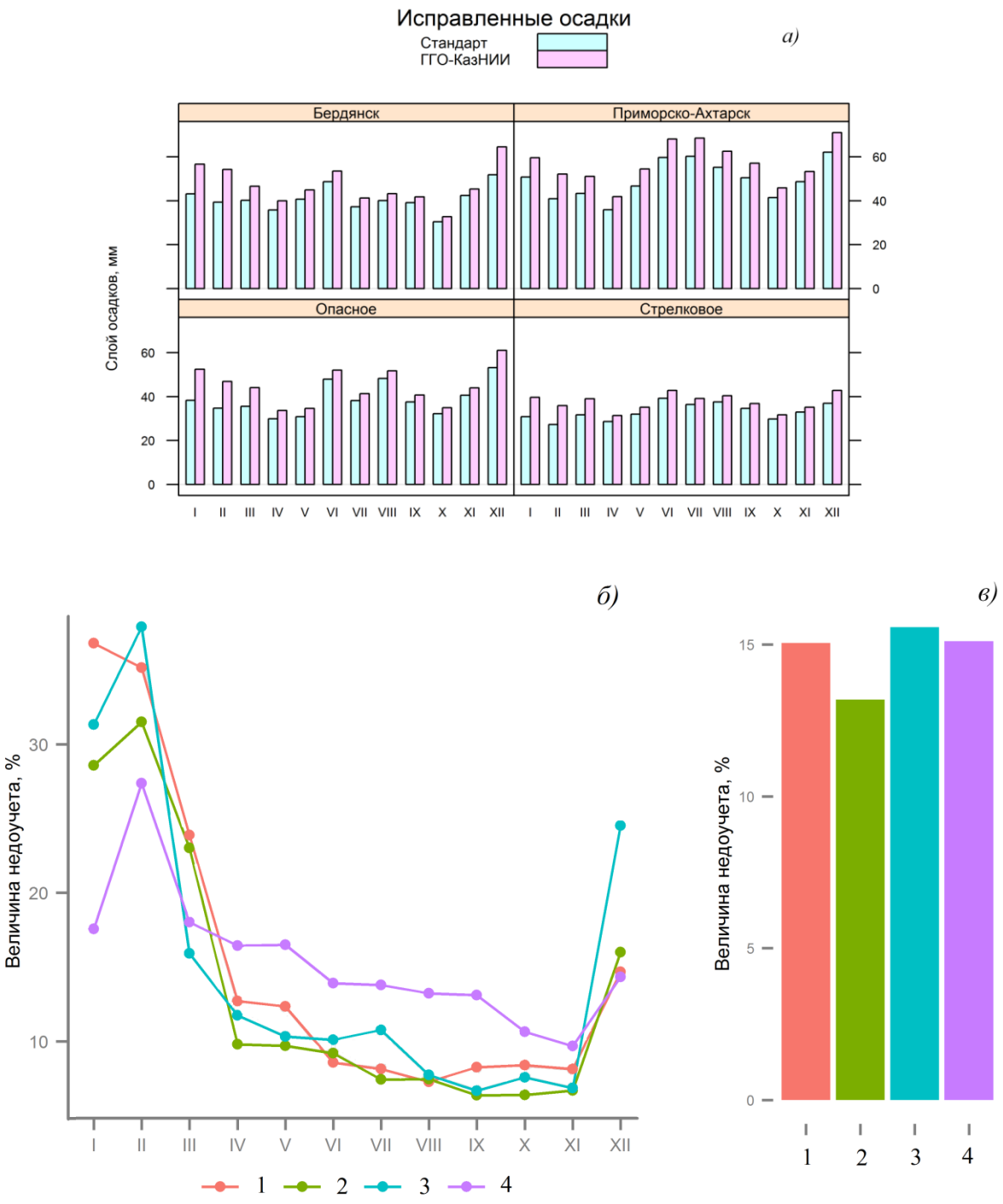


Рисунок 1 – Месячные величины исправленных осадков методами «НОРМА» и ГГО-КазНИИ (а) и недоучет месячных (б) и годовых (в) сумм осадков в методе «НОРМА» для береговых станций Азовского моря.1 — Опасное; 2 — Стрелковое; 3 — Бердянск; 4 — Приморско-Ахтарск.

В результате, значительные отклонения между поправками (до 18 мм) выявлены для месяцев зимнего сезона и марта (рис.1а).

Вследствие использования стандартной методики, недоучет осадков для января-марта колеблется в пределах от 27 до 37% в зависимости от станции, за теплый период с мая по октябрь величина недоучета не превышает 17% (рис.1.б). Основным вкладом в поправку к

измеренным осадкам в холодный период является ветровой недоучет. Сильные ветра, в особенности на северном побережье Азовского моря, приводят к увеличению аэродинамического поправочного коэффициента. В годовых величинах недоучет стандартного метода достигает значений от 50 мм (Стрелковое) до 90 мм (Приморско-Ахтарск). В процентном отношении недоучет среднемноголетних годовых сумм осадков составляет 13-16% (рис.1.в).

Сравнение интегрального слоя осадков над Азовским морем, полученного по представленной в данной работе модели, с учетом корректировки измеренных слоев осадков на сети метеорологических станций методами «НОРМА» (данные для сравнения были взяты из монографии (Гидрометеорология…, 1991) и таблиц ЕДМ за аналогичный период) и ГГО-КазНИИ с ранее опубликованными данными показало существенные различия в оценках годового слоя осадков (до 37 %).

Таким образом, выявленное различие в оценках годового слоя осадков над Азовским морем связано, как с неверным воспроизведением пространственной структуры поля осадков над морем, так и с введением корректировки измеренных осадков на метеорологических станциях. Полученный результат приводит к необходимости пересмотра составляющих водного баланса Азовского моря, представленных ранее в литературных источниках.

Исследование, проведенное в рамках данной работы показало возможность использования статистической модели пространственной связанности поля осадков над акваторией Азовского моря методом множественной линейной регрессии на основе данных спутникового зондирования Земли радиометром SEVIRI для определения корректировки составляющих водного баланса Азовского моря за доступный исторический период.

Список литературы

Богданова Э. Г., Голубев В. С., Ильин Б.М., Драгомилова И.В. Новая модель корректировки измеренных осадков и ее применение в полярных районах России // Метеорология и гидрология, 2002, № 10, с. 68—94.

Браславский А. П., Струзер Л. Р., Шергина К.Б. Методика определения исправленных величин атмосферных осадков при срочных наблюдениях // Труды ГГО, 1975, вып. 341, с. 32—50.

Волкова Е.В. Определение сумм осадков по данным радиометров SEVIRI/Meteosat-9,10 и AVHRR/NOAA для Европейской территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014, Т. 11, №4, с. 163—177.

Волкова Е.В., Успенский А.Б. Оценки параметров облачного покрова по данным геостационарного МИСЗ Meteosat-9 круглосуточно в автоматическом режиме // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, 2010, Т. 7, № 3, с. 16—22.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V. Азовское море. — СПб., Гидрометиздат, 1991, 235 с.

Остроумова Л.П. Определение действительных величин атмосферных осадков по наблюдениям на метеорологических станциях, используемых в водном балансе Северного Каспия // Труды ГОИН, 2014, вып. 215, с. 257—276.

Kidd C., Levizzani V., Laviola S. Quantitative Precipitation Estimation From Earth Observation Satellites, Rainfall: State of the Science // Geophysical Monograph Series 191, 2010, p. 127—158.

R Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.

Roebeling R.A., Holleman I. SEVIRI rainfall retrieval and validation using weather radar observations. — J.Geophys.Res., 2009, Vol. 114, D21202, doi:10.1029/2009JD012102.

Calculation method of integrated precipitation amount on the Azov sea

***Mishin D.V.*[1], *Evstigneev V.P.*[2], *Ostroumova L.P.*[1]**
[1]*State Oceanographic Institute, Moscow*
[2] *Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Sevastopol*
miwindv@gmail.com

Abstract: The research is focused on construction of a statistical model of the spatial distribution of the precipitation field over the Azov Sea. The model is based on the data of remote sensing of the Earth surface by SEVIRI radiometer. A set of four meteorological stations was determined to restore the integral precipitation amount over the sea. The model can be used for water-balance studies of the Azov Sea. The input data is represented by meteorological stations measurements.

Keywords: precipitation amount, statistical model, Sea of Azov, SEVIRI, meteorological station network, water balance, correction of precipitation measurements.

Спектральный анализ колебаний уровней воды Невы и Невской губы

***Палконен А.А.,* Саноцкая Н.А.**
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
palkonen@mail.ru

Аннотация: Оперативные данные об уровнях воды Невы и Невской губы публикуются дважды в день на сайте http://www.meteo.nw.ru. Между уровнями воды по постам Горный институт, Новосаратовка, Шлиссельбург и стоком реки Нева есть связь.

Спектральный анализ заключается в разложении реализаций во времени исследуемого явления на различные частотные составляющие (спектр), показывающие вклад колебаний с разными частотами в общую энергию процесса. Спектр показывает периоды преобладающих колебаний. Основываясь на этой информации можно предсказать устойчивость и неустойчивость соответствующих волн.

В статье для проведения спектрального анализа используется статистический пакет Statistica. В программе есть отдельный модуль анализа временных рядов с широким набором возможностей. Модуль Временные ряды включает реализацию методов спектрального или Фурье анализа одного ряда и кросс-спектральный анализ двух рядов.

Стандартные методы предварительной обработки ряда включают косинус-сглаживание, вычитание среднего и удаление тренда. Результаты обычного спектрального анализа содержат: частоту и период колебаний, коэффициенты при синусах и косинусах, периодограмму и оценку спектральной плотности. Оценка плотности может быть вычислена с помощью весов Даниеля, Хэмминга, Бартлетта, Тьюки, Парзена или с весами и шириной, заданными пользователем.

В статье представлен спектральный анализ колебаний уровней воды по постам: Шлиссельбург, Обуховский завод, Горный институт, Н. Порт, Шепелево, Приморск, Высоцк, Выборг и Гогланд.

Ключевые слова: спектральный анализ, ход уровней, корреляция, Нева, Невская губа

Ч. Кайсл дал следующее определение: «Процесс – это любое явление, которое непрерывно изменяется во времени, в некоторой области, в каком-либо объеме или вдоль линии» (Ч. Кайсл, 1972). Согласно этому определению изменение уровней воды реки является гидрологическим процессом и содержит следующие компоненты: периодическую составляющую, катастрофические события, линейный тренд, квазислучайную составляющую.

Можно предположить, что временные ряды наблюдений за уровнем воды Невы и Невской губы являются пространственно зависимыми. По коэффициентам корреляции в табл.1 видно, что значимая линейная зависимость наблюдается только между уровенными постами Невской губы.

В пакете Statistica построены периодограммы по постам: Шлиссельбург, Обуховский завод, Горный институт, Н. Порт, Шепелево, Приморск, Высоцк, Выборг и Гогланд.

Анализ временных рядов колебаний уровней Невы и Невской губы особенно ценен при определении особенностей гидрологического цикла. Спектральные методы позволяют выявить характерную изменчивость внешней среды и наличие инструментального шума. Проблема остается с определением характера нелинейных и нестационарных компонент и в последующей формулировке моделей, которые правильно отражают сложность изменения колебаний уровня воды Невы и Невской губы.

На рис. 1 представлен график совместного хода уровней воды по исследуемым постам. Хорошо заметен линейный тренд изменения уровней Невы в Петрокрепости.

Табл. 1 Коэффициенты корреляции между уровнями воды по постам

	Гор-ный	Н. Порт	Обухов-ский завод	Петро-крепость	Гог-ланд	Выборг	Высоцк-Угольный	Высоцк-Лукойл	При-морск	Шепе-лево	Крон-штадт
Горный	1	0,996	0,558	0,077	0,902	0,953	0,945	0,946	0,951	0,955	0,980
Н. Порт	0,996	1	0,586	0,053	0,903	0,955	0,945	0,947	0,952	0,958	0,984
Обуховский завод	0,558	0,586	1	-0,419	0,566	0,573	0,548	0,554	0,562	0,569	0,596
Петрокрепость	0,077	0,053	-0,419	1	0,075	0,008	0,049	0,036	0,035	0,041	0,003
Гогланд	0,902	0,903	0,566	0,075	1	0,939	0,950	0,954	0,957	0,950	0,935
Выборг	0,953	0,955	0,573	0,008	0,939	1	0,990	0,990	0,986	0,975	0,979
Высоцк-Угольный	0,945	0,945	0,548	0,049	0,950	0,990	1	0,996	0,992	0,982	0,975
Высоцк-Лукойл	0,946	0,947	0,554	0,036	0,954	0,990	0,996	1	0,997	0,988	0,978
Приморск	0,951	0,952	0,562	0,035	0,957	0,986	0,992	0,997	1	0,994	0,984
Шепелево	0,955	0,958	0,569	0,041	0,950	0,975	0,982	0,988	0,994	1	0,988
Кронштадт	0,980	0,984	0,596	0,003	0,935	0,979	0,975	0,978	0,984	0,988	1

Примечание: красным цветом выделены значимые коэффициенты корреляции.

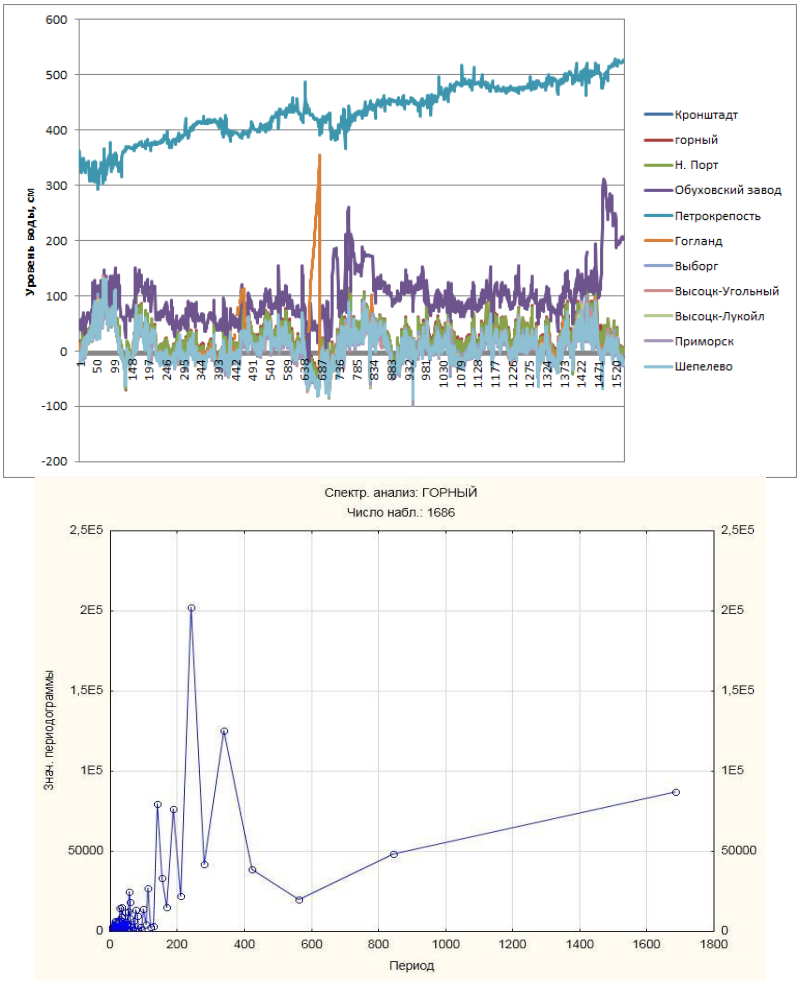


Рис. 1 График хода уровней воды Невы и Невской губы и периодограмма по посту Нева – Горный институт (ноябрь 2015 – январь 2018). а) График хода уровней воды Невы и Невской губы (ноябрь 2015 – январь 2018) б) Периодограмма по посту Нева – Горный институт

Список литературы

Кайсл Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 139с.

Spectral analysis of water level fluctuations in the Neva and the Neva Bay

Palkonen A.A.*, *Sanotskaya N.A.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg
palkonen@mail.ru

Abstract: Operational data on the water levels of the Neva and the Neva Bay are published twice a day on the site http://www.meteo.nw.ru. Between the water levels according to the posts the Gorny Institute, Novosaratovka, Shlisselburg and the drainage of the Neva River are connected.

Spectral analysis consists in the decomposition of realizations over time of the phenomenon under study into various frequency components (spectrum), showing the contribution of oscillations with different frequencies to the total energy of the process. The spectrum shows the periods of prevailing oscillations. Based on this information, it is possible to predict the stability and instability of the corresponding waves.

The article uses statistical package Statistica for spectral analysis. The program has a separate time series analysis module with a wide range of capabilities. The Time Series module includes the implementation of spectral or Fourier analysis of a single series and cross-spectral analysis of two series.

Standard pre-processing methods for the series include cosine-smoothing, subtracting the average, and removing the trend. The results of conventional spectral analysis contain: frequency and period of oscillations, coefficients for sines and cosines, periodogram and spectral density estimation. The density estimate can be calculated using the weights of Daniel, Hamming, Bartlett, Tukey, Parzen or with weights and widths specified by the user.

The spectral analysis of water level fluctuations according to posts is presented in the article: Shlisselburg, Obukhov Zavod, Gorny Institute, N. Port, Shepelevo, Primorsk, Vysotsk, Vyborg and Hogland.

Keywords: spectral analysis, water level changes, correlation, Neva, Neva Bay

Особенности неустановившегося движения в условиях приливов на примере малой реки Кянды (бассейн Белого моря)

Панченко Е.Д.
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва
panchenko.zhe@yandex.ru

Аннотация: Объектом исследования является малая река Кянда, относящаяся к бассейну Белого моря. К ее устью доходит приливная волна величиной 2-2.5 м, при движении по руслу она трансформируется и взаимодействует с речным стоком. Для исследования особенностей гидродинамической структуры потока на устьевом участке Кянды была разработана одномерная модель длиной 9.9 км. Для этого использовался программный комплекс MIKE 11, в котором численно решается система уравнений Сен-Венана с учетом инерционных членов в уравнении движения. Основная цель работы заключается в определении возможности и границ применимости одномерных численных моделей для устьев рек с значительным влиянием на их гидродинамический режим приливов.

Исходная информация о рельефе, граничные и начальные условия, а также данные для калибровки и верификации модели были получены в ходе экспедиции в устье Кянды в августе 2016 года. Измерения проводились с помощью современного оборудования, в последнее десятилетие активно внедряемого в гидрологическую практику (самописцы уровней воды, акустик-доплеровские измерители течений, эхолоты, дифференциальные системы спутникового позиционирования).

В ходе калибровки модели был подобран единый для участка Кянды коэффициент шероховатости Маннинга, равный 0.01 $с^{1/3}$/м, однако сложная морфометрия русла с обширными перекатными участками не позволила точно привести моделируемые стоковые уровни воды к фактическим. Тем не менее, модели удается воспроизвести максимальный уровень воды, время его наступления, диапазон изменения скоростей течения и стоковые скорости.

На основе данных о скоростях течения и уровнях воды в двух створах за приливный цикл были рассчитаны члены уравнения движения и путем решения обратной задачи определен диапазон изменения коэффициента гидравлического сопротивления. Оценка вклада каждого члена уравнения движения показала, что в моменты малых уклонов водной поверхности величины инерционных членов сопоставимы с значением уклона трения, поэтому они обязательно должны учитываться при исследовании гидродинамики приливных устьев рек.

Ключевые слова: одномерная гидродинамическая модель, приливный цикл, устьевая область, р.Кянда, Белое море, MIKE 11, система уравнений Сен-Венана, гидравлическое сопротивление

Введение

Гидродинамическая модель представляют собой уникальный инструмент для воспроизведения особенностей гидродинамической структуры водного потока реки. Детальная, откалиброванная и верифицированная модель предоставляет целостную в пространстве и времени картину изменения полей течений, уровней воды и других гидродинамических характеристик, позволяет исследовать «поведение» реки в нетипичных условиях и при различных сочетаниях влияющих на структуру потока факторов. Особенно актуальным является создание моделей приливных устьевых

участков рек, где гидродинамическая структура определяется взаимодействием речного стока и с определенной периодичностью изменяющегося уровня воды в приемном водоеме. С помощью модели могут быть рассмотрены сценарии различных комбинаций влияющих со стороны реки и моря факторов, в то время как для фактических наблюдений и фиксации всех интересующих ситуаций могут уйти десятки лет.

В случаях, когда основной целью является исследование изменений по длине участка, например, при рассмотрении движения по руслу реки длинных волн и их взаимодействия, когда изменениями гидродинамических характеристик в поперечном направлении можно пренебречь, удобно использование одномерных моделей. Для их создания и калибровки требуется меньше фактической информации, а для проведения расчетов – меньше вычислительной мощности и времени. В результате одномерного моделирования получаются данные об уровнях и скоростях течения воды, осредненные по сечению потока.

Целью настоящей работы является определение возможности и границ применимости одномерных численных моделей для определенных водных объектов: устьев рек с значительным влиянием на гидродинамический режим приливов.

Объект исследования

В качестве объекта исследования была выбрана малая река Кянда, впадающая в Кяндский залив, расположенный в юго-восточной части Онежского залива Белого моря. Ее длина составляет всего 49 км, площадь бассейна – 510 км^2. Средний годовой расход воды по расчетам равен 5.6 м^3/с, максимальный расход воды 1%-ной обеспеченности 105 м^3/с, а минимальный 95%-ной обеспеченности – 0.25 м^3/с. На гидродинамический режим нижнего течения реки оказывают влияние приливы величиной 2-2.5 м. Приливные волны при движении по мелководному Кяндскому заливу трансформируются, но практически не уменьшаются относительно средней величины в Онежском заливе.

У Кянды меандрирующее русло, его ширина закономерно уменьшается при движении от устья от 80-100 м (в полную воду) до 20-30 метров (в районе 8-10 км выше устья). Продольный профиль реки представляет собой чередующиеся участки плесов и перекатов, и в отлив, когда режим течения реки близок к стационарному, на некоторых участках Кянда подобна водосливу с широким порогом. Во время отлива глубины составляют в среднем 0.2-0.4 метров на перекатах и 1.5-2 метра на плесах. Во время прилива волна движется достаточно быстро, и происходит одновременное наполнение водой участка около 6-7 км выше устья, где практически одновременно наблюдается одинаковый по величине максимальный уровень воды. После наступления полной воды на всем участке происходит медленное падение уровня воды, и в течение 2-2.5 часов наблюдается практически горизонтальная водная поверхность.

Дальность проникновения приливов, вероятнее всего, не превышает 10 км, так как на участке после девятого километра выше устья начинаются пороги. На расстоянии 8.6 км от устья было зафиксировано изменение уровня воды на 0.44 м.

Материалы и методика исследования

В августе 2016 года были проведены комплексные гидрологические исследования (Алабян и др., 2016; Панченко, 2017), включающие в себя измерения уровней, расходов, скоростей течения, солености воды в нескольких створах в течение разных приливных циклов на участке Кянды длиной девять километров, а также детальные измерения глубин. В ходе работ использовалось современное оборудование, позволяющее получать большие массивы фактических данных высокого качества: самописцы уровней воды, акустик-доплеровские измерители течений, эхолоты, а также дифференциальные системы спутникового позиционирования. Структура работ была построена таким образом, чтобы собрать всю необходимую для гидродинамического моделирования информацию, а именно: максимально подробные данные о рельефе дна, уровни воды на нижней границе

предполагаемой модели реки (в устьевом створе), расходы воды на верхней границе, а также наборы данных об уровнях, скоростях течения и расходах воды в створах на различном удалении от устья для калибровки и верификации модели. Уровни воды были измерены в семи створах (на расстоянии 0 км, 1.5 км, 3 км, 4.4 км, 6.4 км, 7.7 км, 8.6 км выше устья), расходы и скорости течения воды - в устьевом створе, в створе в трех километрах выше, а также на расстоянии 7.7 км от устья. Помимо этого, одновременные измерения гидродинамических характеристик в двух створах позволили провести расчеты составляющих уравнения движения и путем решения обратной задачи оценить фактический диапазон изменения коэффициента гидравлического сопротивления за приливный цикл.

Для создания модели устьевого участка Кянды использовался программный комплекс MIKE 11, в котором численно решается полная система уравнений Сен-Венана в одномерном виде. Разработчиками программа позиционируется как универсальная, и существует ряд примеров успешной реализации моделей приливных эстуариев с ее использованием. Одномерная модель Кянды охватывает участок протяженностью 9.9 км от устьевого створа. Для задания рельефа использовалась информация об абсолютных отметках русла в виде 51 поперечных профилей. На нижней границе, соответствующей устьевому створу Кянды, в качестве граничного условия задавался фактический ход уровней воды в течение приливного цикла, на верхней границе (она была выбрана так, чтобы колебания уровня воды в створе не превышали 10 см) – постоянный расход воды, измеренный в период полевых работ.

Калибровка модели и анализ результатов

Калибровка модели проводилась сначала для квазистационарных условий, наблюдаемых в последние часы отлива, когда уровни и скорости течения воды не испытывают влияние моря. В один приливный цикл были измерены уровни воды на участке 0-6.4 км (где нулевому километру соответствует устьевой створ), в другой – на участке 6.4-8.6 км, поэтому для калибровки модель была разбита на две части. В результате оказалось, что для обоих участков наибольшее соответствие между фактическими и расчетными уровнями воды достигается при одинаковом коэффициенте шероховатости, и далее при работе с моделью всего устьевого участка использовалось одно значение калибровочного параметра. При этом стоит отметить, что разница между фактическими и смоделированными стоковыми уровнями воды на участке 2.5 – 6.4 км составила порядка 15-20 см (фактические уровни воды ниже). Тем не менее, уменьшение коэффициента шероховатости Маннинга при продолжении калибровки приводило к неустойчивости модели, поэтому было решено остановиться на значении $n = 0.01$ $с^{1/3}/м$.

После подбора коэффициента шероховатости для гидродинамических условий, предшествующих приливу, запускались расчеты фактического приливного цикла.

В реальности уровень воды в устьевом створе Кянды изменялся с -1.31 м до 0.8 м, в створе на 3 км выше – с -1.06 м до 0.8 м, в 6.4 км – в диапазоне от -1.1 м до 0.78 м, то есть на данном участке максимальный уровень воды был одинаков. Далее на участке 6.4 – 7.7 км происходило основное уменьшение величины приливной волны. В результате моделирования уровень воды в основном калибровочном створе в трех километрах выше устья изменялся в диапазоне -0.92 м – 0.82 м (рис.1, а), на расстоянии 6.4 км: -0.87 м – 0.85 м. Таким образом, высота приливной волны воспроизводится с высокой точностью в отличие от стоковых уровней воды. Время начала приливного подъема уровня воды в 3 км от устья отличается на 15 минут, время наступления полной воды совпадает. Можно отметить схожесть формы расчетной и фактической волн.

Сравнение скоростей течения воды проведено для створа в 3 км выше устьевого (рис.1, б). Измеренные скорости течения изменялись от -0.82 м/с до 0.5 м/с,

смоделированные – в диапазоне от -0.82 м/с до 0.44 м/с. Скорость течения реки без влияния прилива воспроизводится достаточно точно, как и времена наступления характерных точек, кроме максимальной отрицательной скорости течения, которая в модели наблюдается на 20 минут раньше. Важным результатом является то, что модели удается воспроизвести увеличение скоростей течения на отливе.

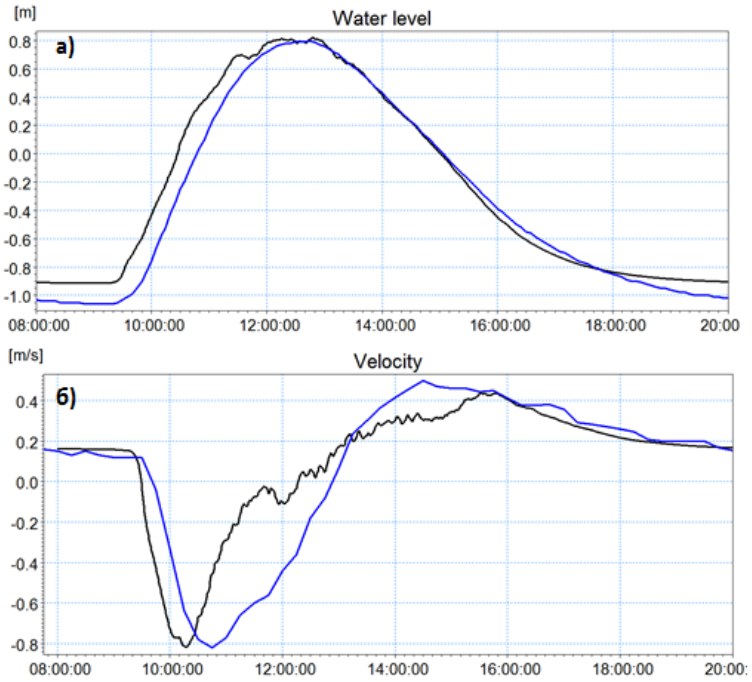


Рисунок 1 Графики хода уровней (а) и скоростей течения воды (б) в 3 км выше устьевого створа Кянды. Синим цветом показаны фактические значения, черным - расчетные

Оценка членов уравнения движения

Расчет составляющих уравнения движения методом конечных разностей был проведен для гипотетического створа, расположенного посередине между поперечными профилями русла Кянды, где проводились одновременные измерения скоростей течения и уровней воды. Расстояние между створами составляло 3 км, шаг по времени 15 минут, выбор был соотнесен со скоростью движения фронта приливной волны.

В моменты значительных уклонов водной поверхности, а именно в последние часы отлива, когда гидродинамический режим реки близок к квазистационарному, и во время прилива до наступления полной воды, когда наблюдаются обратные уклоны воды, значения фрикционного члена во много раз превосходят сумму инерционных членов. В период, когда уклон водной поверхности близок к нулю, например, в течение первых часов после полной воды, наступающей на участке одновременно, сумма конвективного и локального ускорений сопоставима с величиной уклона трения. Полученный результат подтверждает необходимость учета инерционных членов при расчетах гидродинамики приливной реки. Значения коэффициента шероховатости Маннинга изменяются за приливный цикл на несколько порядков. Вполне привычные для рек значения 0.015-0.03 в моменты маленьких уклонов воды резко увеличиваются до 0.33-0.76 $с^{1/3}/м$ (Алабян, Панченко, 2017).

Выводы

Одномерная гидродинамическая модель устьевого участка Кянды длиной 10 км была разработана в программном комплексе MIKE 11. В результате калибровки модели в целом удается достичь соответствия по рассчитанным и фактическим уровням и скоростям

течения воды, однако некоторые важнейшие характеристики гидродинамической структуры потока воспроизводятся с значительными погрешностями. Вследствие сложного морфометрического строения русла с обширными перекатными участками стоковые уровни воды, наблюдаемые в последние часы отлива, завышаются относительно фактических, хотя подобранный коэффициент шероховатости Маннинга составляет 0.01 $с^{1/3}$/м, что заметно меньше принятых в гидрологической практике. Попытки уменьшить калибровочный параметр приводят к неустойчивости расчета.

Оценка вклада каждого члена уравнения движения в течение приливного цикла показала, что в моменты малых уклонов водной поверхности величины инерционных членов сопоставимы с значением уклона трения, поэтому обязательно должны учитываться при исследовании гидродинамики приливных устьев рек. Проведение подобного расчета позволило определить фактический диапазон изменения коэффициента гидравлического сопротивления, составивший для Кянды несколько порядков.

Список литературы

Алабян А. М., Алексеева А.А., Демиденко Н.А., Крыленко И.Н., Лебедева С.В., Льюменс М., Панченко Е.Д., Попрядухин А.А., Фингерт Е.А., Фролова Н.Л. Гидрологические исследования приливных устьев малых рек Белого моря // Труды V Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2016)", М.: Феория, - 2016 - С. 476–479.

Алабян А.М., Панченко Е.Д. Гидравлическое сопротивление в приливных устьях и феномен «отрицательного трения» в речной гидравлике // Инженерные изыскания. 2017. №3. С. 18-26.

Панченко Е. Д. Гидродинамика устьевой области реки Кянда (Беломорский бассейн) в летнюю и зимнюю межень 2016 и 2017 гг // Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU – 2017)". — Москва, 2017. — С. 734–738.

Specific features of unsteady flow in tidal estuary of small river Kyanda (the White Sea basin)

Panchenko E.D.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
panchenko.zhe@yandex.ru

Abstract: The present study object, the Kyanda River, flows into Onezhskaya Guba (the Bay of Onega) of the White Sea. Its estuary is meso-tidal, with a tidal range of 2-2.5 m. Specific features of unsteady flow are formed by interaction of river and sea waters. One-dimensional numerical model of the Kyanda estuary was created by MIKE 11 DHI, which is based on the Saint Venant equations. The main purpose of this paper is to determine the possibility of applying one-dimensional models for estuaries with great tidal influence on river hydrodynamics. All necessary information for model creating, its calibration and verification was observed during special field surveys in August 2016. During calibration it was found that the model with Manning’s coefficient value of 0.01 produced the most comparable simulated results in this study. But simulated ebb water levels are not close to observed water levels even with this Manning’s value. The equation of momentum members were calculated through synchronous velocity and water level data on the boundaries of 3 km length area of the Kyanda during tidal cycle. Also the range of resistance coefficient values was estimated.

Keywords: One-dimensional numerical model, tidal cycle, estuary, Kyanda, the White Sea, MIKE 11, Saint Venant equations, hydraulic resistance

Адаптация одномерной модели GLM для расчета термодинамического режима малого стратифицированного озера

Терешина М.А.*, *Ерина О.Н.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
tereshishi@mail.ru

Аннотация: Термика и динамика озер играют ключевую роль в формировании их химических и биологических характеристик, определяя распределение питательных веществ в водной толще. Наряду с натурными измерениями, эффективным является изучение термодинамических процессов с помощью озерных гидродинамических моделей, позволяющих кроме реальных условий рассмотреть и возможные изменения в состоянии водоема при меняющихся климатических условиях или режиме водопользования.

В настоящей работе выполнена адаптация одномерной озерной модели GLM для воспроизведения термодинамического режима малого озера Снейл (Snail), расположенного в Миннесоте, США, за период 2005–2014 гг. Описан процесс подготовки входных данных для модели, ее автоматическая калибровка, верификация и обработка результатов расчета. Показана возможность и удобство применения модели в исследованиях, связанных с термическим и динамическим режимом водоемов.

Получено, что модель адекватно воспроизводит термический и уровенный режим озера, а также позволяет добиться достоверного расчета характеристик устойчивости водной массы озера. Среднеквадратическая ошибка расчета температуры всего озера составляет около 2,3 °С, температуры эпилимниона – 0,7 °С, гиполимниона – 1,0 °С. Моделью хорошо воспроизводятся сроки установления и разрушения стратификации, а также глубина термоклина.

Откалиброванная и верифицированная на независимом материале модель использована для симуляции термодинамического режима озера Снейл при различных темпах и режиме поступления воды из озера Сакер (Sucker). Расчеты показали существенные различия в структуре водного баланса, термическом и динамическом режимах водоема, что в конечном счете позволяет судить об определяющей роли перекачки и в гидроэкологическом состоянии озера Снейл. Рассмотрен альтернативный сценарий управления водными ресурсами озера – отсутствие перекачки за рассматриваемый период – и его возможные последствия для уровенного и температурного режима водоема.

Ключевые слова: термодинамика озер, лимнологическое моделирование, модель GLM, термодинамический режим, температурная стратификация, гидродинамическая устойчивость, глубина термоклина

Введение

Температурный и динамический режим озер с самого начала развития лимнологии как науки является объектом множества исследований. Процессы внешнего и внутреннего теплообмена и перемешивание водных масс оказывают влияние на всю экологическую структуру водоема, поэтому при рассмотрении любых вопросов использования водных ресурсов озер стоит уделять значительное влияние изучению их термодинамического режима. Для озер умеренной зоны в большинстве случаев характерно формирование в летний период устойчивой плотностной стратификации, параметры которой определяются большим количеством внешних и внутренних факторов.

В последние десятилетия все большую роль в изучении термодинамики озер приобретают методы математического моделирования. Существующие в настоящее время

озерные гидродинамические модели значительно различаются по многим параметрам: способам и полноте описания гидрофизических процессов, временным и пространственным масштабам. Многие из моделей оказываются достаточно сложны в использовании, в результате чего применение их в обычных исследованиях оказывается затруднено.

Одномерная озерная гидродинамическая модель GLM (General Lake Model) основывается на принципах, ранее реализованных в модели DYRESM и позволяет с суточным или почасовым шагом оценивать структуру водного баланса, рассчитывать вертикальные профили температуры, электропроводности и плотности воды. Физические уравнения, лежащие в основе модели, позволяют применять ее для широкого спектра различающихся по термодинамическим условиям водоемов, расположенных в различных природных зонах (Hipsey и др., 2014). При этом модель достаточно проста в использовании и распространяется в открытом доступе, что делает ее легкодоступным инструментом для исследования динамического режима озер.

Материалы и методы

Озеро Снейл (N 45.0742, W 93.1259), выбранное в качестве объекта исследования, не имеет естественных притоков и стоков, озерная чаша имеет достаточно простую форму и максимальную глубину около 9 м. Площадь зеркала озера составляет около 0,63 км^2, водосбор крайне мал – 5,3 км^2. Характерной особенностью озера Снейл является его уровенный режим: в последние десятилетия в озере отмечалось устойчивое падение уровня воды, для компенсации которого в течение нескольких десятилетий инженерными службами штата осуществляется подпитка озера сначала за счет подземных вод, а с 1991 года – путем перекачки воды из близко расположенного озера Сакер. В маловодные годы за счет перекачки формируется значительная доля приходной части водного баланса озера, в годы с большим естественным притоком перекачка не осуществляется.

На озере регулярно проводятся гидрологические измерения: за период с мая по сентябрь каждого года в среднем имеется 7 измерений распределения гидрологических характеристик по вертикали. В нескольких километрах от озера находится метеостанция Сент-Пол, для которой доступны ежедневные данные по температуре воздуха, влажности, осадкам, облачности и скорости ветра. Данные о средних сезонных объемах поступления вод из оз. Сакер были предоставлены инженерной службой, осуществляющей перекачку.

Для калибровки модели использовались данные по вертикальному распределению температуры и электропроводности воды с 2005 по 2009 г, для верификации – с 2009 по 2014 г. Калибровка проводилась в программной среде R по методу Нелдера-Мида, реализованному в пакете FME (Soetaert и Petzoldt, 2010). Расчет параметров стратификации проводился с помощью программы LakeAnalyzer (Read и др., 2011). Качество расчета оценивалось при помощи величины среднеквадратического отклонения.

Результаты

Первичный запуск модели обнаружил весьма существенные расхождения фактического хода уровней и температуры вод из-за недостаточного прогрева озера и более интенсивного ветрового перемешивания по результатам моделирования. Среднеквадратическая ошибка для расчета температуры оставляла 8,9 °С. Из-за недоучета величины испарения отмечались существенные расхождения и при воспроизведения многолетнего хода уровня воды, среднеквадратическая ошибка за период 2005-2009 гг. составляла 1,49 м.

Калибровке подвергался набор параметров, участвующих при расчете испарения, ветрового перемешивания, коэффициент турбулентной диффузии (табл. 1). Результаты показали высокое качество моделирования термического режима озера за рассматриваемый период. Несмотря на более поздние даты формирования устойчивой

стратификации в весенний период и чуть более ранние даты полного перемешивания осенью, в целом отмечается очень хорошее совпадение между фактическими и модельными величинами. Также выросло качество воспроизведения глубины термоклина и температурного градиента.

Среднеквадратическая ошибка расчета для средней температуры по всему озеру составила 2,34 °С. Для поверхностной температуры воды (на глубине 1 м) величина ошибки составила 0,65°С, для придонной (глубина 6 м) – 0,96 °С (рис. 1).

Несмотря на наличие искусственной закачки воды, после калибровки модель стала адекватно воспроизводить ход уровенных отметок озера. Среднеквадратическая ошибка расчета уровня составила около 38 см при амплитуде колебаний уровня за рассматриваемый период более 1,5 м.

По результатам калибровки и верификации сделан вывод об адекватном воспроизведении моделью GLM водного баланса и гидродинамического режима озера Снейл, а также его термических условий.

Смоделированные ряды ежедневного распределения температуры воды в озере позволили также оценить различные параметры гидродинамической устойчивости и продолжительность периода стратификации. Так, за период с 2005 по 2014 года диапазон изменений величины стабильности водной толщи по Шмидту S_t изменялась от 13 до 31, в среднем составляя около 25 г/см. Величины прогрева эпилимниона достигали в отдельные годы 30 °С, в среднем же температура в данном слое составляла около 20,5 °С. Термоклин формировался в рассматриваемый период на глубине 2-6 м, в течение летнего периода происходило его заглубление в среднем на 2-3 м.

Таб.1. Калибруемые параметры модели и величины ошибок расчета уровня и температуры воды в оз.Снейл для периодов калибровки и верификации

Параметр	До калибровки	После калибровки
Kw	0.2	0.82
coef_mix_conv	0.2	0.21
coef_wind_stir	0.23	0.30
coef_mix_shear	0.3	0.32
coef_mix_turb	0.51	0.54
coef_mix_KH	0.3	0.27
coef_mix_hyp	0.5	0.39
cd	0.0013	0.0011
ce	0.0013	0.0022
ch	0.0013	0.0013
rain_threshold	0.01	0.01
runoff_coef	0.3	0.35
Среднеквадратическая ошибка температуры, °С	8.9	2.34
Невязка уровня, м	1.5	0.38

Перекачка воды из оз. Сакер в отдельные годы может составлять более 70% от приходной части водного баланса оз. Снейл. При этом в 5 из рассмотренных 10 лет перекачка воды в озеро по различным причинам не осуществлялась. С помощью GLM был рассмотрен иной сценарий водопользования, при котором с начала данного периода в озеро не поступало воды через эту систему. Итогом стало почти полное осушение озера в результате испарения к 2016 г. При этом в первые 4-5 лет постепенно сокращается период летней стратификации водной толще, после чего термический режим озера меняется

полностью и стратификация перестает формироваться. Это показывает огромную важность перекачки для функционирования экосистемы озера.

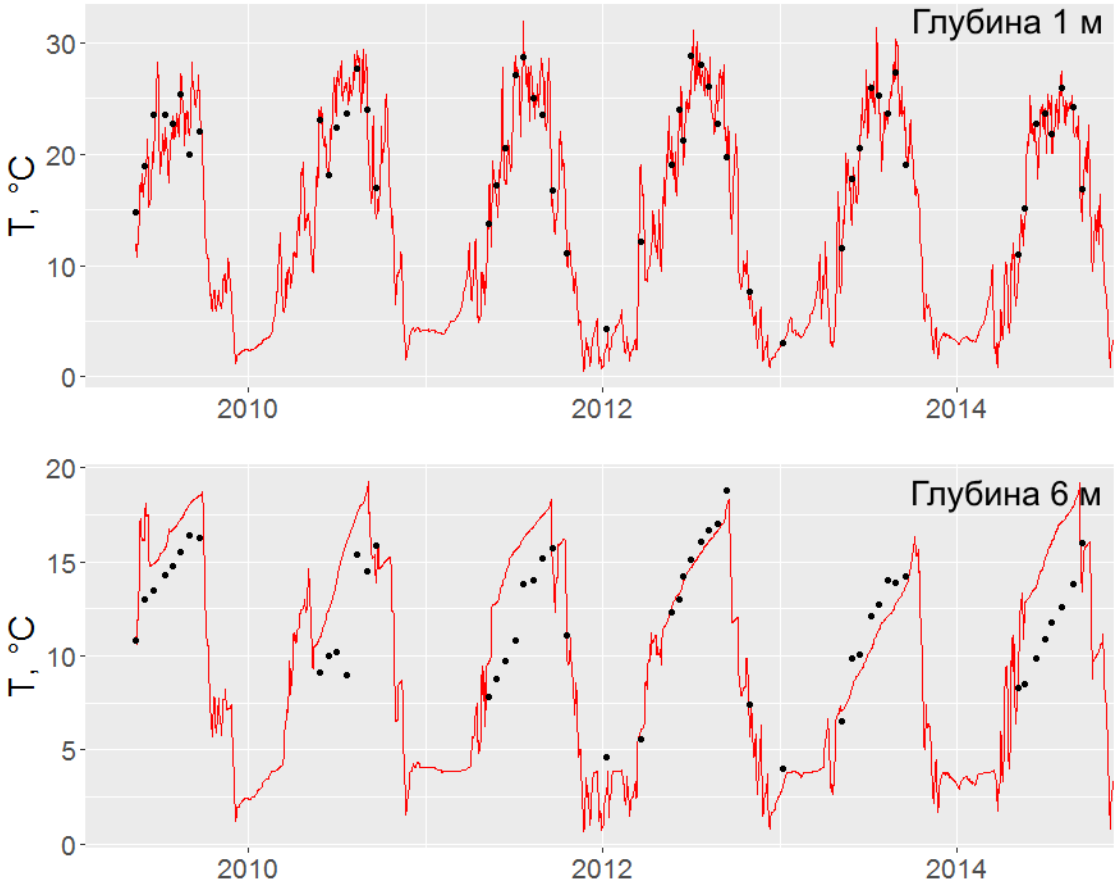


Рис.1. Сравнение фактических (точки) и модельных (линия) температур воды на глубинах 1 и 6 м по результатам верификации

Выводы

- Модель GLM была откалибрована и верифицирована для воспроизведения термики и динамики малого озера Снейл.
- Достигнута приемлемая точность расчета температуры воды, глубины термоклина и его температурного градиента.
- Модельный расчет показывает в среднем более позднее установление стратификации и более раннее осеннее перемешивание, чем отмеченные по данным наблюдений.
- При отсутствии перекачки в уровенном и термическом режиме озера Снейл могли бы произойти непоправимые изменения, результатом которого была бы деградация озера и его заболачивание.

Список литературы

Hipsey M. R., Bruce L. C., Hamilton D. P. GLM – General Lake Model: Model overview and user information / The University of Western Perth, Perth, Australia, 2014.

Read J. S, Hamilton D. P., Jones I. D., Muraoka K., Winslow L. A., Kroiss R., Wu C. H., Gaiser E. Derivation of lake mixing and stratification indices from high-resolution lake buoy data // Environmental Modelling and Software. № 26, 2011: 1325-1336.

Soetaert K., Petzoldt T. Inverse Modelling, Sensitivity and Monte Carlo Analysis in R Using Package FME // Journal of Statistical Software, №33(3), 2010: 1-28.

Using one-dimensional General Lake Model (GLM) to simulate thermodynamics of a small stratified lake

Tereshina M.*, *Erina O.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
tereshishi@mail.ru

Abstract: Thermal dynamics of lakes strongly affects their chemical and biological features and determines the distribution of nutrients in the water column. Alongside with field measurements, lake hydrodynamic models can be effectively used to study thermodynamical processes in lakes, allowing to consider not only current and historical conditions but also possible changes with different climatic conditions or water use scenarios.

In this study we present the results of applying the one-dimensional lake model GLM to simulate the thermal regime of the Snail Lake - a small lake located in Minnesota, USA – over a period of 2005–2014. Preparation of input data, automatic calibration, validation and model output processing procedures are described. The model's suitability for studying lakes thermal dynamics and water level regimes is shown.

The model is proven effective in simulating thermal features of the lake and its water levels with good quality, also calculated stability indices are close to their real values. Root mean square error of whole lake water temperatures is close to 2,3 °C, surface temperatures – about 0,7 °C, bottom temperatures – 1 °C. Stratification onset and breakup dates and thermocline depth are reproduced well.

Calibrated and validated model was used to simulate thermodynamic regime of the Snail Lake with different rates of external water pumping from Sucker Lake. Results show significant shifts in water balance structure, thermal and dynamic regimes of the lake, pointing to the crucial role of water pumping on its hydroecological state. Alternative scenario of water management was also enacted, with no water coming into the Snail Lake from Sucker Lake, with possible consequenses reviewed.

Keywords: limnology, lake temperature modelling, GLM, stratification, Schmidt stability, water level

Применение модели SWAT для изучения гидрологического режима малого речного бассейна на примере реки Комаровка (юг Приморского края)

***Терешкина А.А.*[1,2], Бугаец А.Н.[1,2,3], Гарцман Б.И.[3], Гончуков Л.В.[1,2,3], Бугаец Н.Д.[2], Сидоренко Н.Ю.[1], Пшеничникова Н.Ф.[2], Краснопеев С.М.[2,4]**

[1]*Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Владивосток*

[2]*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток*

[3]*Институт водных проблем РАН, Москва*

[4]*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

andreybugaets@yandex.ru

Аннотация: Описан опыт использования цифровых моделей покрытий подстилающей поверхности водосбора (цифровые модели рельефа, почвенного и растительного покрова) для создания пространственной структуры гидрологической модели с открытым кодом Soil and Water Assessment Tools (SWAT). По данным Приморской водно-балансовой станции и действующей на ее территории современной наблюдательной сети Приморского УГМС выполнено моделирование гидрологического режима бассейна р. Комаровка (616 км^2) с суточным разрешением. Установлено, что расчетные и измеренные гидрографы стока в целом хорошо согласуются и модель пригодна для описания гидрологического режима рек умеренного пояса с преобладанием дождевых паводков в режиме. Для выбранного водосбора модель наилучшим образом воспроизводит средние по водности годы, несколько занижает пиковые расходы, вызванные интенсивными осадками тайфунного и ливневого происхождения.

Ключевые слова: Гидрологический режим, малые водосборы, модель SWAT

Введение

Математическое моделирование процессов формирования стока является основой при проведении исследований в современной гидрологии. Физическая обоснованность структуры и параметров гидрологических моделей позволяет более эффективно изучать особенности формирования стока в масштабе водосбора. В данном контексте перспективы моделирования гидрологического режима водосборов площадью 500-1500 км^2 связаны с их оптимальной репрезентативностью при обобщении параметров математических моделей (Виноградов, 2014). В статье излагается опыт подготовки исходных данных, калибровки и применения модели с открытым кодом SWAT (Soil and Water Assessment Tool) для изучения гидрологического режима малого речного бассейна на примере р. Комаровка, расположенной в южной части Приморского края. Бассейн представляет собой территорию, для которой сохранился уникальный архив специальных гидрометеорологических наблюдений бывшей Приморской водно-балансовой станции (ПВБС) и продолжают работать две метеостанции и два гидрологических поста наблюдательной сети Приморского УГМС.

Материалы и методы

Модель SWAT (Arnold et.al., 1993) может быть охарактеризована как физическая, описывает основные процессы гидрологического цикла суши: инфильтрацию, испарение, термический и водный режим почв, образование и таяние снежного покрова, формирование поверхностного, внутрипочвенного и грунтового стока. Пространственная

структура основана на естественной конфигурации гидрографической сети, морфометрических и ландшафтных характеристиках бассейна.

В качестве объектов тестового моделирования были выбраны малые водосборы (18-616 км^2), расположенные в пределах бассейна р. Комаровка. Гидрометрические посты организуют вдоль главного русла реки и её основных притоков иерархически-вложенное расположение экспериментальных водосборов. Для калибровки модели использован архив ПВБС и данные наблюдений двух метеостанций Тимирязевский (31961) и Приморская (31962) действующей наблюдательной сети ПУГМС за совместный период наблюдений 1964-1987гг. Валидация модели выполнена за период 1988-2010 гг. только по данным метеостанций и гидрологических постов.

Подготовка структурной основы моделирования и баз данных ландшафтных характеристик выполнена с помощью ГИС-интерфейса ArcSWAT с использованием ЦМР 10х10м, цифровых покрытий м-ба 1: 50 000 растительного и почвенного покрова (Бугаец и др., 2015). База данных гидрологических свойств почв создана по литературным источникам и пояснительным запискам к почвенным картам (Терешкина и др. 2015).

Калибровке подвергались переменные, входящие в уравнения блоков поверхностных, внутрипочвенных, грунтовых вод, образования и таяния снежного покрова. Априорная оценка параметров модели выполнена на основе обобщения данных литературных источников, далее значения параметров уточнялись в процессе ручной калибровки, сначала для небольших однородных водосборов, затем полученные значения параметров использовались для водосборов с большей площадью. Априорная оценка пределов изменения большинства калибруемых параметров была выполнена путем обобщения данных литературных источников. Полученные значения вместе с остальными параметрами уточняли в процессе калибровки. Сначала определялись параметры, относящиеся к водосбору в целом, – температура воздуха при которой осадки выпадают в виде снега SFTMP и начинается снеготаяние SMTMP, минимальный запас влаги в снежном покрове, при котором водосбор полностью покрыт снегом SNOCOVMX. Затем калибровали параметры на уровне расчетных элементов модели (HRU), сгруппированные по сходству их ландшафтных характеристик.

Начальные значения параметра водоотдачи в условиях нормального увлажнения CN2 установлены для каждого вида почвы согласно описанию их гидрологического режима (Бугаец и др., 2015). Значения коэффициента шероховатости склонов OV_N приняты в соответствии с видом почвы и типом растительного покрова. Высокие значения OV_N для горной территории, основную часть которой занимают буроземы с сильно скелетным профилем и хорошим дренажом, соответствуют представлениям Бефани об образовании контактного стока на относительных водоупорах (Вопросы…, 1968). Шероховатость при этом следует рассматривать как интегральное сопротивление склона стоку воды, учитывающего все реализуемые в конкретных условиях механизмы стекания (Бугаец, 2011). Значение OV_N заметно уменьшается для ареалов распространения средне- и тяжелосуглинистых разновидностей горных буроземов, сформированных на элюво-делювии базальтов. Для равнин, где в период выпадения интенсивных дождей механизм поверхностного стекания явно преобладает, значения OV_N соответствуют принятому в гидравлике интервалу табулированных значений для естественных склонов, покрытых плотным кустарником.

Для горных почв глубина залегания водонепроницаемого слоя DEP_IMP установлена на уровне предполагаемой нижней границы геологического субстрата. Установка для этих почв параметра компенсации испарения (из нижних горизонтов) ESCO в области

минимальных значений позволяет лесному покрову извлекать влагу из всего почвенного профиля. Значение минимального запаса грунтовых вод REVAPMN, при котором возникает капиллярное поднятие, установлено по данным о влажности разрыва капилляров для нижних почвенных горизонтов. Оценка времени инфильтрации (достижения уровня грунтовых вод) GW_DELAY основана на предположении, что основная часть осадков от интенсивных дождей должна расходоваться на внутрипочвенный и поверхностный сток. Доля грунтовых вод, питающих глубокие подземные горизонты RCHRG_DP, определена по литературным данным (Подземные…, 1974). Начальное значение коэффициента истощения грунтовых вод для горных и равнинных типов почв ALPHA_BF и порогового уровня грунтовых вод GWQMIN, при котором может возникнуть возвратный сток, получены в процессе калибровки модели.

Средние значения коэффициента Нэша-Сетклифа и R^2 по всем водосборам на период калибровки равны 0.8. Модель занижает максимальные и завышает минимальные расходы воды. Для всех водосборов в период 1980-1987 гг. наблюдается снижение критерия NSE на 10-15%, связанное, очевидно, с началом интенсивной хозяйственной деятельности на водосборе. На период валидации модели 1988-2010 гг. расчеты были выполнены только по данным двух метеостанций для двух действующих гидрологических постов – Центральный и Сахарный Завод. По сравнению с периодом калибровки, значение критерия NSE для обоих створов снизилось и составило 0.75 и 0.68 соответственно.

Результаты

Тестовые расчеты показали, что, несмотря на достаточно хорошую гидрологическую изученность территории, качество используемых в работе пространственных цифровых моделей покрытий и высокую плотность наблюдательной сети ПВБС, моделирование гидрологического режима исследуемых водосборов представляет собой довольно сложную задачу. Полученные при оптимизации эффективные значения параметров (табл. 1) хорошо согласуются с данными литературных источников и общими представлениями о процессах стокообразования на водосборе. Измеренные и расчетные гидрографы стока демонстрируют хорошее соответствие (рис. 1). Модельные оценки элементов водного баланса согласуются с данными опубликованных ранее исследований (Гарцман и др. 2016). В целом модель адекватно воспроизводит различные фазы водного режима и демонстрирует хорошее качество воспроизведения гидрографов стока всех исследуемых бассейнов.

В результате обобщения расчетных данных получены следующие среднегодовые значения элементов водного баланса: сумма осадков в горной части составляет 750 мм (в равнинной – 600 мм), в виде снега – 100 мм, испарение – 280 мм, сублимация – 20 мм, поверхностный, внутрипочвенный и грунтовый сток – 120, 100 и 80 мм соответственно. Потери на питание глубоких грунтовых горизонтов в горной части водосбора составляют 150 мм. Модель хорошо воспроизводит гидрографы средних и многоводных лет, как правило, на 10-20% занижает пиковые значения гидрографов паводков от интенсивных дождей, вызванных выходом на территорию водосбора тайфунов, имеет тенденцию к завышению базисного стока в маловодные годы.

При интерпретации результатов расчетов следует учесть точность измерения максимальных расходов, многие из которых получены путем экстраполяции кривой на 40-50% амплитуды измерений, рассчитаны по формуле Шези или измерены с помощью поплавков. Гиетографы интенсивных дождей, полученные с помощью осадкомеров, расположенных в труднодоступной части бассейна, также недостаточно надежны. Во

время прохождения катастрофических паводков на горных реках в течение суток (одного расчетного шага) расход может изменяться на два порядка, а модуль стока (подтвержденный данными инструментальных измерений) достигать 1000 л/(с·км^2). Применение в рассматриваемых условиях эффективных значений шероховатости русел и склонов для всей амплитуды расходов и интенсивности осадков является существенным недостатком модели.

Снижение эффективности моделирования в период валидации обусловлено существенным занижением моделью объема паводка 1990 г. Одной из причин является неправильная оценка реального количества осадков редкой наблюдательной сетью. В то же время, при сравнении гидрометеорологических условий за время прохождения катастрофических паводков и предшествующих им периодов в 1968, 1979 и 1990 гг. установлено, что максимальный расход паводка 1990 г. может быть недостоверным, его значение существенно искажено локальным снижением пропускной способности русла и поймы, вызвавшим подъем уровня воды в районе поста Сахарный Завод. Среди других причин снижения эффективности моделирования следует указать значительное упрощение описания движения влаги в зоне аэрации, условие насыщения почвенного профиля влагой и некорректность в данных обстоятельствах эмпирических формул SCS CN, совместно приводящих к значительным потерям объема стока. Завышение моделью объема базового стока для маловодных лет можно объяснить погрешностью расчета эвапотранспирации и недоучетом при измерениях так называемого подруслового стока. Его объем в межень для горных рек, русла которых сложены аллювием из гальки и гравия с песком, может быть сопоставим с русловым.

Табл. 1 Значения параметров, полученные в результате калибровки

Параметр	Комаровский	Каменский	Егерьский	Центральный	Верхний	Дальний	Нижний	Лесничий	Садовый	Мостовой	Сахарный Завод
SFTMP, °C	1,9	1,7	1,7	1,6	1,7	2,7	1,6	1,6	1,6	0,5	1,6
SMTMP, °C	1,8	1,5	2,2	0,6	0,6	1,9	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6
SNOCOVMX, *мм*	64	76	76	70	76	70	70	70	70	30	70
CN2	42	45	40	45	60	55	40	40	40	60	55
OV_N	12	14	18	18	12	16	18	4	18	0,6	3
DEP_IMP, *м*	5,3	3,0	3,0	3,1	4,2	5,6	3,1	5,4	3,1	4,0	3,2
ALPHA_BF	0,78	0,8	0,3	0,5	0,84	0,85	0,5	0,45	0,5	0,05	0,5
GW_DELAY	1,4	0,7	0,5	1	1	2,2	1	1,5	1	1	1
GWQMN, *мм*	480	600	550	650	500	500	650	600	600	1000	600
GW_REVAP, *мм*	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,3
REVAPMN, *мм*	90	80	60	60	100	120	60	60	60	150	60
RCHRG_DP	0,45	0,55	0,34	0,55	0,4	0,5	0,55	0,6	0,6	0,0	0,6
ESCO	0,47	0,1	0,12	0,01	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,95	0,5

Выводы

Испытания модели SWAT, выполненные для довольно сложных климатических условий юга Приморского края, в целом продемонстрировали хорошее качество моделирования и подтвердили её пригодность для рек умеренного пояса с преобладанием в режиме дождевых паводков. Полученные результаты демонстрируют хорошее

соответствие с ранее опубликованными данными. Тестовые расчеты позволили выявить отдельные ограничения, связанные с упрощением описания некоторых процессов и использованием эмпирических зависимостей при моделировании экстремальных паводков. В перспективе, публикация и систематизация параметров модели SWAT и других открытых гидрологических моделей должна способствовать более широкому применению математического моделирования не только в качестве методологии исследования гидрологического режима речных бассейнов, но и в практике гидрологических прогнозов и расчетов.

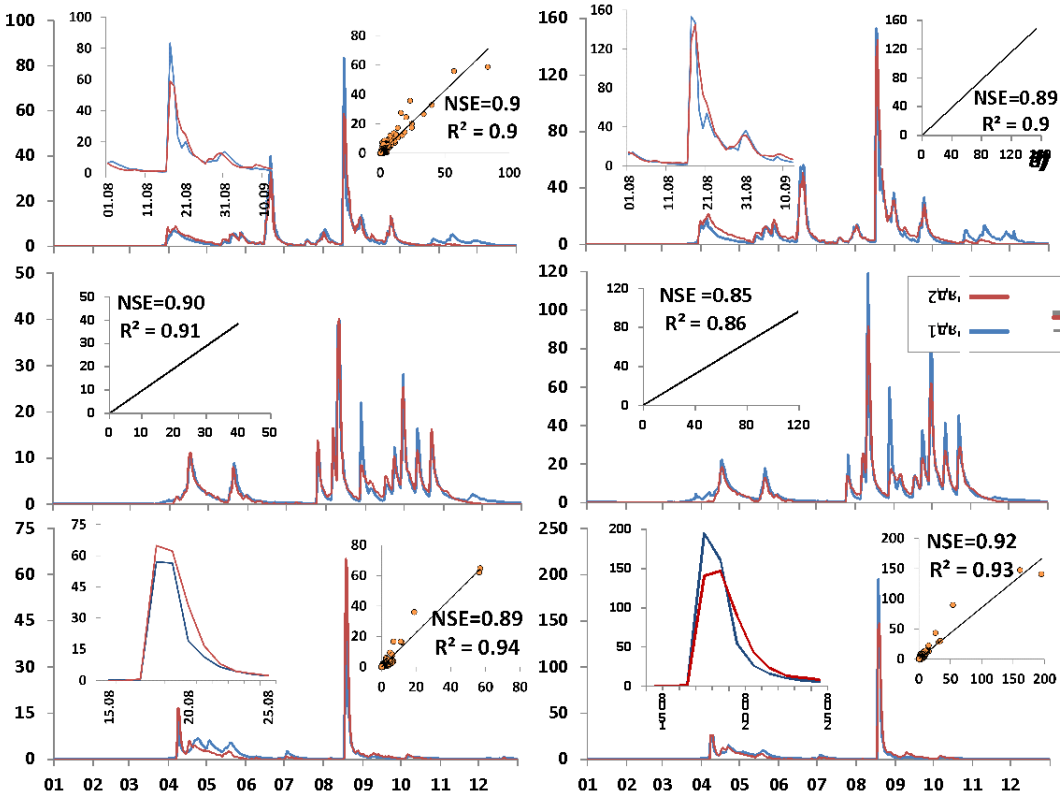


Рис. 1 Примеры расчетных (1) и измеренных (2) гидрографов стока р. Комаровка для гидрологических постов Центральный (а, в, д) и Садовый (б, г, е) за 1968 г. (а, б), 1972 г. (в, д) и 1979 г. (д, е).

Список литературы

Бугаец А. Н. Разработка методов определения структурно-гидрографических характеристик по данным ЦМР для гидрологического моделирования. автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. СПб, РГГМУ, 2011, 208 с.

Бугаец А. Н., Пшеничникова Н. Ф., Терешкина А. А., и др. Анализ пространственной дифференциации почвенного покрова юга Приморья на примере бассейна р. Комаровка. – Почвоведение, 2015, № 3, с. 268-276.

Виноградов Ю. Б. Виноградова Т. А. Математическое моделирование в гидрологии. – М., Издательский центр ‘Академия’, 2010, 304 с.

Вопросы формирования паводков на реках Дальнего Востока. / Под ред. А. Н. Бефани. – Труды ДВНИГМИ, 1968, – Вып. 24, 324 с.

Гарцман Б. И., Шамов В. В., Губарева Т. С. и др. Речные системы Дальнего Востока России: четверть века исследований – Владивосток, Дальнаука, 2015, 492 с.

Подземные воды СССР. / В сб. Обзор подземных вод Приморского края. Т. 1. Гидрологический очерк. – М., Гос. геол. ком. СССР, Всесоюз. геол. фонд, 1974, 63 с.

Терешкина А. А., Бугаец А. Н., Пшеничникова Н. Ф. и др. Опыт создания базы данных гидрофизических характеристик почвенного покрова и моделирования гидрологического цикла малого речного бассейна на примере реки Комаровка. В сб.: Роль почв в биосфере и жизни человека. – М., МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015.

Arnold J. G., Allen P. M., and Bernhardt G. A comprehensive surface - groundwater flow model. – J. Hydrology, 1993, vol. 142, pp. 47-69.

Application of SWAT model to study hydrological regime of small catchment

***Tereshkina A.A.*[1,2], *Bugaets A.N.*[1,2,3], *Gartsman B.I.*[3], *Gonchukov L.V.*[1,2,3], *Bugaets N.D.*[2], *Sidorenko N.Yu.*[1], *Pshenichnikova N.F.*[2], *Krasnopeev S.M.*[2,4]**

[1] *Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute, Vladivostok*

[2] *Pacific institute of geography FEB RAS, Vladivostok*

[3] *Water Problems Institute RAS, Moscow*

[4] *Far Eastern Federal University, Vladivostok*

a.a.tereshkina@gmail.com

Abstract: This research describes the experience of applying Soil and Water Assessment Tools (SWAT) hydrological model for the small (18-616 km^2) testbed catchments located on the south of the Russian Far East. The climate of territory is monsoon with high annual contrast in precipitation caused by extreme heavy rains and typhoons. Model structure was created with using high resolution geodatabases. Simulation was performed with daily time step and manual parameters optimization gaining advantage of high density stationary water balance observation network. Model shows generally good agreement between the calculated and measured runoff hydrographs, well reproduces the average water years, underestimates the peaks caused by intense rainfall of typhoons original.

Keywords: Catchment, SWAT model, Hydrological regime.

Исследование формирования речного стока в Российской части бассейна Западной Двины с использованием гидрологической модели SWAT

***Терский П.Н.*[1], *Кулешов А.А.*[2]**
[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
[2]*Технологический Университет Дрездена (TU Dresden), Дрезден, Германия*
pavel_tersky@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрен подход к решению задачи моделирования стока р. Западной Двины (российской части) с использованием открытой гидрологический модели SWAT на основе открытых пространственных и гидрометеорологических данных. На основании сравнительного статистического анализа данных метеорологических наблюдений и данных реанализа предложены рекомендации по использованию метеоинформации и подготовлена база ежедневных метеоданных в формате модели SWAT. Первичный анализ результатов моделирования стока позволил сделать выводы об оптимальных исходных данных о водосборе и методике определения элементарных водосборов. Приведены результаты оценки чувствительности параметров модели и результаты их калибровки для среднемесячного и ежедневного временного шага расчета речного стока.

Ключевые слова: гидрологическое моделирование, речной сток, Западная Двина, SWAT, калибровка параметров, чувствительность и неоднозначность модели

Введение

В данной работе рассмотрена Российская часть бассейна Западной Двины в замыкающем створе г. Велиж (площадь водосбора 17250 км^2). Западная Двина – трансграничная река, протекающая по территории России, Белоруссии, Латвии, Эстонии и Литвы. Один из шагов развития международного сотрудничества в сфере управления водными ресурсами - получение достоверной гидролого-гидрохимической картины на основе надежных информативных методов, основанных на единых принципах и подходах, принятых в мировом сообществе.

Цель – создать рабочую гидрологическую модель водосбора для заполнения пропусков в рядах наблюдений, для дальнейшей оценки влияния хозяйственной деятельности в бассейне на качество воды, прогноза притока растворенных и взвешенных веществ к границе РФ на основе принятых в мировой практике методов и открытых исходных данных. Реки бассейна Западной Двины в российской части не зарегулированы, не подвержены высокой антропогенной нагрузке и слабо изучены (имеются ряды наблюдений по 5 метеостанциям в бассейне и ближайшей окрестности и ряды ежедневных расходов воды по 4 гидрологическим постам с различными периодами).

Для целей данной работы выбрана модель открытого использования, обладающая математической основой, в которой заложен комплекс средств расчета стока наносов и биогенных элементов, обладающая высокой чувствительностью к информации о водосборе - гидрологическая модель SWAT (Gassman et. al. 2007). Преимуществами SWAT является наличие обширной и качественной документации, отсутствие ограничений по площади водосбора, совместимость с современными ГИС-пакетами (ArcGIS, QGIS, MapWindow), наличие открытой внешней программы автокалибровки SWAT-CUP (Abbaspour et. al, 2015), а также наличие открытой электронной библиотеки тематических публикаций и профессионального онлайн-сообщества.

Моделирование различных видов стока (воды, растворенных веществ, взвешенных наносов) основано на расчете формировании речного стока и его параметризации. Общая схема подготовки модели ежедневного и среднемесячного стока приведена на рис. 1.

Моделирование стока с помощью модели SWAT проходит в несколько этапов:

1 этап - создание модели водосбора с использованием ГИС-интерфейса ArcSWAT v.2012. В настоящей работе использованы следующие исходные данные:

- цифровые модели рельефа (SRTM v.4 - разрешение 30 м (http://earthexplorer.usgs.gov), ALOS PALSAR RTC - разрешение 12.5 м (https://www.asf.alaska.edu);
- база данных почв мира HWSD FAO (http://www.fao.org)
- растровые слои ландшафтов и землепользования Globcorine разрешением 300 м (http://due.esrin.esa.int/page_project114.php) и Globallandcover разрешением 30 м (http://www.globallandcover.com).

2 этап - подготовка метеорологических данных. В качестве исходных метеоэлементов используются ежедневные температура воздуха (минимальная TMN и максимальная TMX), осадки (PCP), относительная влажность (HMD), скорость ветра (WND) суммарная солнечная радиация (SOL).

Рис. 1 Блок-схема подготовки данных и выполнения расчетов стока р. Западная Двина (в створе г. Велиж) с использованием гидрологической модели SWAT

Метеорологические данные – основа воднобалансовых расчетов в гидрологической модели. Для подготовки базы метеоданных проведен сравнительный анализ двух различных источников метеорологической информации за период 1981 по 2016 год: это реанализ метеорологических полей ERA-Interim (https://www.ecmwf.int) и данные метеонаблюдений с двух крупнейших ресурсов: GSOD NCDC/NOAA (https://data.nodc.noaa.gov) и ECA&D (www.ecad.eu). Данные наблюденеий были обработаны на предмет выбросов и неправдоподобных значений. Результаты показали, что экстремальные суммы осадков, равные 75, 150 и 300 мм за день из NOAA являются выбросами (и не совпадают с данными ECA&D). Величины температур, осадков и скорости ветра были проанализированы с помощью методов робастной статистики. Принимая во внимание зависимость высот метеостанций над уровнем моря, и связанное с этим изменение в тенденциях распределения этих величин, были установлены пороговые значения для каждого месяца, выходя за которые суточные значения температур, скорости ветра и осадков считались ошибочными. Впоследствии они заменялись опорными

значениями с «надежных» метеостанций с помощью метода обратных взвешенных коэффициентов корреляции (Young 1992). Для сравнения полученных результатов с данными реанализа, была произведена интерполяция данных метеостанций по сетке, соответствующей самому высокому разрешению в ERA-Interim на ежедневной основе.

Полученные результаты показали, что TMN, TMX для реанализа и интерполированных метеоданных в хорошей зависимости друг от друга (коэффициент корреляции (R) и согласованности (D) более 0,99).

Среди метеорологических данных самыми ненадежными являются ежедневные суммы осадков. Коэффициенты пространственной корреляции (R) между соседними станциями (Велиж, Белый, Торопец, Великие Луки и Смоленск) меняются от 0.21 до 0.74, данные не согласованы во времени. Что касается WND - данные реанализа значительно переоценивают скорость ветра по сравнению с интерполированными метеоданными, несмотря на высокий коэффициент корреляции (R = 0.86). Данные реанализа и интерполированные данные со станций согласуются слабо из-за высокой разницы между среднегодовыми амплитудами скорости ветра (1.38 м/с), в целом реанализ переоценивает метеоданные на 33%. Одна из возможных причин - недоучет шероховатости поверхности в реанализе для данного региона.

3 этап – Выполнение калибровки и верификации параметров модели на основе данных гидрологических наблюдений. Ряды наблюдения за расходами воды на гидрологических постах р. Велеса - Рудня, р. Торопа - Старая Торопа и р. Западная Двина - Велиж, непрерывные за период 1992-2004 гг, обусловили выбор периода для работы модели: 1989-1992 – warm-up (период «разогрева»), 1992-1998 – период калибровки, 1999-2004 – период верификации модели месячного и ежедневного стока. Данный период является средним по водности для р. Западной Двины в соответствии с результатом анализа разностно-интегральной кривой годового стока в створе г. Велиж. Калибровка проводилась по данным наблюдений за расходами воды на посту Велиж на основе критерия Нэша-Сатклиффа (NS), выбранного в качестве целевой функции.

Результаты

Расчеты компонентов водного баланса российской части бассейна Западной Двины в модели SWAT за период 1992-2004 показали, что вычисленные среднегодовые компоненты имеют адекватные значения и соответствуют измеренным: суммарный слой стока составляет 278 мм/год (по данным наблюдений 275 мм/год), слой испарения 379 мм/год (по данным ДЗЗ MODIS за 2000 – 2011- MOD16 Global слой испарения для выбранного бассейна составляет 395 мм).

В бассейне Западной Двины внутригодовое распределение речного стока генетически неоднородно. В данной работе реализован подход, основанный на отборе чувствительных параметров по одному вручную, поскольку стандартный подход автокалибровки всего перечня параметров и выбор чувствительных на основе стандартных статистических подходов себя не оправдал и привел к выраженной эквифинальности модели. В первую очередь с использованием программы SWAT-CUP откалиброван основной распределенный параметр - номер кривой связи "сток - осадки" для залесенных и незалесенных территорий. Далее, параметры, определяющие талый сток, процессы снегонакопления и снеготаяния были объединены в группу и откалиброваны отдельно от остальных. Отдельно калибровались параметры, отражающие взаимодействие поверхностных вод с почвами и подземными водами, с учетом найденных в процессе калибровки диапазонов снеговых параметров. В результате выполнения калибровки и верификации модели получен набор чувствуительных параметров и их значений для среднемесячного и ежедневного стока (табл.1).

Табл. 1 Результаты калибровки чувствительных параметров модели Западной Двины (в створе г. Велиж) для суточного и месячного шага расчета водного стока

№ пп	Параметр	Описание параметра	Диапазон значений	Модель среднемесячного стока	Модель ежедневного стока
1	CN2_FRST	Номер кривой связи "сток - осадки" для залесенных территорий	35 - 98	64-69	42.5
2	CN2_RNGE	Номер кривой связи "сток - осадки" для территории без леса (луга, поля, пастбища)	35 - 98	77-83	58-62
3	SFTMP	Температура воздуха, ниже которой выпадают осадки только в виде снега, °С	-20 - +20	0.70	1.93
4	SMTMP	Температура начала снеготаяния, °С	-20 - +20	5.31	2.12
5	SMFMX	Максимальный слой стаивания мм H2O/(°С·день)	0 - 20	12.0	4.07
6	SMFMN	Минимальный слой стаивания мм H2O/(°С·день)	0 - 20	3.92	2.77
7	SNOCOVMX	Минимальное содержание воды в снеге, соответствующее 100% снежному покрову	0 - 500	57	137
8	SNO50COV	Доля воды в снеге от момента начала схода снега, соответствующее 50% снежному покрову	0 - 1	0.23	0.32
9	SOL_AWC	Свободная влага почвы, мм H_2O/мм почвы	0 - 1	0.19-0.34	0.10-0.17
10	GWQMN	Минимальная глубина залегания воды в первом водоносном горизонте, при которой возможен водообмен с поверхностью (мм)	0 - 5000	1443	644
11	GW_DELAY	Запаздывание грунтовых вод (дни)	0 - 500	22.6	12.3
12	RCHRG_DP	Доля фильтрации в глубокий водоносный горизонт	0 - 1	0.17	0.45
13	GW_REVAP	Коэффициент испарения влаги непосредственно из почвы	0,02 - 2	0.04	0.06
14	ALPHA_BF	Фактор меженного стока (1/день)	0 - 1	0.53	0.23
15	TIMP	Коэффициент запаздывания изменения температуры снега при достижении среднесуточной температуры снеготаяния отношению к температуре воздуха	0 - 1	0.09	0.14
16	ESCO	Почвенный компенсационный фактор испарения из верхних горизонтов	0 - 1	0.93	Не чувствительный параметр
17	REVAPMN	Максимальная глубина залегания воды в первом водоносном горизонте, при которой происходит испарение из почвы (мм)	0 - (500)	787	912
18	CN_FROZ	Коэффициент фильтрации для промерзшей почвы	0,0001 - 0,9	Не чувствительный параметр	0.264
R^2		Коэффициент детерминации		0.83/0.78*	0.80/0.76*
NS		Критерий Нэша-Сатклиффа (целевая функция)		0.77/0.76*	0.72/0.71*
PBIAS %		Среднеквадратической отклонение %		-11.5/-15.5*	-22.4/-24.7*
Оценка качества модели (Moriasi 2007)				хорошее	хорошее/удовлетворительное
* - Калибровка (1992-1998 гг)/Верификация (1999-2004 гг)					

Выводы

Ежедневные данные реанализа о скорости ветра завышены примерно на 33% по сравнению с данными наблюдений. В качестве исходных метеоданных рекомендуется использовать данные наблюдений по всем характеристикам, пропущенные значения

заполнять интерполированными величинами, отсутствующие данные о суммарной солнечной радиации получать из данных реанализа ERA-Interim.

Моделирование ежедневного стока, в отличие от среднемесячного, крайне чувствительно к данным о подстилающей поверхности водосбора. Для расчета ежедневного стока рекомендуется использовать наиболее детальные пространственные данные о рельефе (который определяет уклоны поверхности внутри водосбора), и о распределении ландшафтов (которое определяет разбиение бассейна на элементарные водосборы и существенно влияет на результаты моделирования стока).

Определены чувствительные параметры и вычислены их количественные значения для модели водного стока среднемесячного и ежедневного расчетного шага.

Модель SWAT пригодна для выполнения расчетов речного стока с высокой достоверностью для р. Западной Двины с высокой долей талого стока в годовом гидрологическом цикле и слабой гидрометеорологической изученностью при реализации поэтапной калибровки распределенных и сосредоточенных параметров в зависимости от их природы.

Список литературы

30-meter GlobalLand cover data product, 2014. [Электронный ресурс], доступ по ссылке: http://www.globallandcover.com/ [18.07.2017]

Abbaspour K.C., Vejdani M., Haghighat S. SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT. Proc. Intl. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'07). 2007. P. 1603–1609.

European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) (2013). European Climate Support Network of EUMETNET: 70 pp [Электронный ресурс], доступ по ссылке: www.ecad.eu/ [18.07.2017]

Gassman P., Reyes M., Green C., Arnold J. (2007), The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions // Transactions of the ASABE, vol. 50, issue 4, pp. 1211-1250

Global Surface Summary of the Day (NOAA) [Электронный ресурс], доступ по ссылке https://data.nodc.noaa.gov [18.05.2017]

GLOBCORINE, 2010 [Электронный ресурс], доступ по ссылке: http://due.esrin.esa.int/page_project114.php [08.05.2017]

JAXA/METI ALOS-1 PALSAR RTC. Accessed through ASF DAAC, [Электронный ресурс], доступ по ссылке: https://www.asf.alaska.edu [15.08.2017]

Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Amer. Soc. Agric. Biol. Eng., 2007, vol. 50, pp. 885-900

Nachtergaele, F., Van Velthuizen, H., Verelst, L., Batjes, N., Dijkshoorn, K., Van Engelen, V., Fischer, G., Jones, A., Montanarella, L., Petri, M., et al. (2008) Harmonized World Soil Database. Food Agric. Organ. U. N. [Электронный ресурс], доступ по ссылке http://www.fao.org [15.03.2017]

Young K. (1992). Three-way Model for interpolating for monthly precipitation values. American Meteorology Society: pp. 2561-2569

Официальный сайт The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) [Электронный ресурс], доступ по ссылке: https://www.ecmwf.int [15.03.2017]

Официальный сайт U.S. Geological Survey. [Электронный ресурс], доступ по ссылке: http://earthexplorer.usgs.gov/ [15.03.2017]

Flow generation modeling for Zapadnaya Dvina river (Russian part) using SWAT

***Terskii P.N.*[1], *Kuleshov A.A.*[2]**
[1]*Lomonosov Moscow State University, Russian Federation*
[2]*Dresden University of Technology Dresden), Германия*
pavel_tersky@mail.ru

Abstract: In this study, river runoff simulation approach, based on the open-access hydrological model SWAT and free spatial hydrometeorological data was presented for Zapadnaya Dvina River catchment (Russian part). The comparative statistical analysis of meteorological observations and reanalysis data was carried out to prepare a daily meteorological database for SWAT. Recommendations were given on the data source using in the modeling process. Preliminary modeling results gave valuable information about optimal input parameters of the river catchment and the method of defining elementary catchments. The results also include the estimation of the model parameters sensitivity and their calibration for river runoff calculation with daily and monthly temporal resolution.

Keywords: Hydrological modeling, river runoff, Zapadnaya Dvina, SWAT, parameter calibration, model sensitivity and uncertainty

Реализация стратегии устойчивого развития в мире и России

Тутынина Т.И.
Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, Пермь
tanyatutynina@yandex.ru

Аннотация: Социально-экономическая модель развития общества, ориентированная на быстрые темпы экономического роста в ущерб решению экологических проблем, доказала свою несостоятельность. В статье представлены основные предпосылки, послужившие толчком к смене парадигмы развития мирового сообщества – переходу к устойчивому развитию. В работе рассмотрены особенности национальной стратегии устойчивого развития стран ЕС на примере интегрированного управления водными ресурсами. В России реализация принципов устойчивого развития представлена на примерах схемы комплексного исследования и охраны водных ресурсов, а также программы устойчивого развития сельских территорий РФ.

Ключевые слова: Устойчивое развитие, схемы комплексного исследования и охраны водных объектов, интегрированное управление водными ресурсами, программа устойчивого развития сельских территорий.

Введение

Социально-экономическая модель развития общества, которая сложилась в XX веке и была, прежде всего, ориентирована на быстрые темпы экономического роста, позволила человечеству осознать, что богатства природы, ее способность поддерживать развитие общества и возможности самовосстановления не безграничны и будущему поколению человечества грозит опасность (Концепция,1996).

В сложившейся ситуации поиск новых парадигм существования общества как нельзя актуален. Одной из таких парадигм становится устойчивое развитие (sustainable development) – это модель развития общества, предложенная в конце 1980-х — начале 1990-х гг. в рамках структуры ООН. В основе этой концепции лежит важное понимание того, что сохранение социально-экономического роста совместно с сохранением природных богатств возможно только в рамках устойчивого развития общества. Оно предполагает постепенное восстановление экосистем до уровня, который бы гарантировал стабильность окружающей среды (Концепция, 1996). Человечество постепенно стало осознавать, что вопросы экономического развития необходимо рассматривать совместно с перспективами развития окружающей среды (принцип 4); без сотрудничества между государствами сохранение, защита и восстановление целостности экосистемы всей планеты невозможны (принцип 7); и самое важное понимание заключается в том, что развитие и защита окружающей среды взаимосвязаны и неразделимы от всего мира (принцип 25) (UN World Summit, 2002).

Реализация стратегии устойчивого развития в Европе и мире

Сегодня концепция устойчивого развития (УР**)** получила широкое признание, как в экологической науке, так и в международной практике. В каждой стране мира существует своя специфика развития, которая в полной мере отражена в национальной стратегии устойчивого развития. К началу XXI в. национальные стратегии устойчивого развития разработали десятки государств, которые относятся к трем основным группам стран современного мира: развитым, развивающимся и странам с переходной экономикой.

Значительное внимание в реализации национальной стратегии устойчивого развития европейские правительства уделяют воде и водным ресурсам. В XX веке потребление

воды увеличивалось стремительными темпами, которые в два раза превышали темпы роста населения. По последним оценкам исследователей в Европе 120 миллионов человек, то есть каждый седьмой, не имеют доступа к безопасной питьевой воде и канализации. Что касается всего мира, то каждый год более 5 миллионов человек умирают от заболеваний, связанных с плохим качеством воды. Хотя, согласно многим исследователям, эти болезни можно было бы предотвратить. Наиболее актуально вопрос о нехватке и качестве воды стоит в странах Африканского континента, где, по имеющимся данным, 300 миллионов человек живут в условиях дефицита воды. Сегодня, по данным исследователей, на каждого жителя планеты приходится 750 м^3 в год пресных доступных к использованию водных ресурсов. К 2050 году эта цифра уменьшится, даже без учета влияния изменений климата, в среднем до 450 м^3/сек. Это значит, что более 80 % стран мира пересечёт черту водного дефицита согласно классификации ООН (Коптюг, 1993; Water, 2006). Глобальный водный кризис, с которым столкнулось человечество сегодня, препятствует экономическому развитию, борьбе с нищетой и болезнями, причиняет вред окружающей среде, не способствует миру и безопасности. В связи с этим одна из центральных задач устойчивого развития состоит в том, чтобы обеспечить качественной и доступной питьевой водой население планеты, что будет способствовать экономическому и социальному развитию. Результатом стало создание Глобального водного партнёрства (ГВП), ориентированного на уменьшение числа людей, не имеющих доступа к безопасной питьевой воде и адекватной канализации благодаря разработке планов интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) и планов по эффективному использованию водных ресурсов во всех странах без исключения, с оказанием поддержки развивающимся странам. Глобальное Водное Партнерство (ГВП) под интегрированным управлением водными ресурсами (ИУВР) понимает процесс, задача которого координировано развивать и управлять водными, земельными и соответствующими ресурсами с целью увеличения экономического и социального благополучия без ущерба для устойчивости жизненно важных экосистем (Handbook, 2012; Торкил, 2004). Это ключевой инструмент, задача которого интегрировать службы водоснабжения и канализации в общую структуру управления водными ресурсами. Кроме того, ИУВР является основой при обеспечении мира и безопасности в случае трансграничных водотоков.

Ряд стран, среди которых Уганда, Буркина-Фасо, Индия, Китай, Никарагуа, а так же бывшие Советские республики: Казахстан, Узбекистан и др., перенимают опыт ЕС и уже применяют ИУВР на законодательном и политическом уровнях. Внедрение принципов ИУВР благоприятно сказалось на управлении и развитии водных ресурсов в этих странах. Так в Уганде водохозяйственные реформы опираются на План действий по ИУВР, который был принят ещё в 1994 г. и определи основные направления реформы водного сектора. Спустя десятилетия после принятия Плана действий система ИУВР в Уганде стала настолько эффективной, что позволила успешно решать задачи водного кризиса, распределять водные ресурсы между водопотребителями и осуществлять очистку стоков (Торкил, 2004). В Буркина-Фасо, стране, где 90 % населения занимается сельским хозяйством, но которая больше всего страдает от засух, решение водного кризиса является наиболее актуальным. Реформирование управления водного сектора в Буркина-Фасо началось уже в 1995 (Торкил, 2004), в 1998 были приняты новые законодательные акты на основе ИУВР, а с 1999 г. применение ИУВР пошло более активными темпами в связи с принятием четырёхлетнего плана по внедрению ИУВР с помощью иностранной финансовой и технической помощью. Результатом этого плана стало новое водное законодательство, подготовленное как часть плана ИУВР.

Относительно внедрения принципов ИУВР на постсоветском пространстве следует отметить опыт Казахстана. Одними из причин введения ИУВР в этой республике послужили проблемы в системе управления водными ресурсами, связанные с

недостатками и ограничениями в системах водопотребления, водоохраны, предупреждения и ликвидации вредного воздействия вод и многое другое. В результате на основании Государственной программы управления водными ресурсами страны была разработана программа Интегрированного управления водными ресурсами и повышением эффективности водопользования Республики Казахстан до 2025 года.

Реализация принципов УР в России

Негативное воздействие экономики России на окружающую среду существенно выше, чем в технологически передовых странах. Значительная часть производственных фондов не соответствует современным экологическим требованиям. Часть территории России (16%), на которой проживает больше половины населения страны, характеризуются как экологически неблагополучная. Вместе с тем у нашей страны есть ряд положительных моментов: у нас сохранился крупнейший на планете массив естественных экосистем (8 млн. км^2), который является резервом устойчивости биосферы (Концепция, 1996), что на наш взгляд в купе с назревшими острыми экономическими, экологическими и социальными проблемами должно стимулировать переход страны на путь устойчивого развития, и следовательно уход от сырьевой экономики. Это возможно лишь при создании правовой базы. Ее задачи - совершенствовать действующее законодательство, определять экономические механизмы регулирования природопользования и охраны окружающей среды. Эти задачи направлены на стабилизацию экологической ситуации, для чего необходимо разработать механизмы стимулирования хозяйственной деятельности и установить ответственность за ее экологические результаты; оценить хозяйственную емкость локальных и региональных экосистем страны и определить допустимое антропогенное воздействие на них.

В 2012 г. в Российской Федерации были приняты «Основы государственной политики в области экологического развития на период до 2030 г.». Данный проект документов направлен на решение социально-экономических задач с целью обеспечить рост экономики совместно с сохранением благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов, с целью удовлетворить потребностей нынешнего и будущих поколений. Правительством РФ утвержден и План действий по реализации данных перспектив (Распоряжение, 2012), который включает в себя мероприятия, направленные на ресурсосбережение, неистощительное использование возобновляемых и рациональное использование невозобновляемых природных ресурсов, устранение экологического ущерба, причинённого прошлой хозяйственной деятельностью, а так же защиту и охрану окружающей среды. Значительное внимание в Плане действий уделено развитию особо охраняемых природных территорий и сохранению биоразнообразия страны, а так же перспективам внедрения экологического образования в школах и вузах, роли природоохранных сообществ.

В целом можно отметить, что План действий по реализации государственной политики в сфере экологии носит всеобъемлющий характер, охватывает большой перечень экологических вопросов и свидетельствует о движение российской системы управления в сторону, так называемой, «зелёной» экономики.

Попытки разработать и внедрить в практику принципы ИУВР, функционирующие в ЕС, предприняты в рамках Водного кодекса РФ. Последний был принят Государственной Думой РФ в июне 2006 г. в соответствии с Водной стратегией Российской Федерации, разработанной на период до 2020 года, которая была утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р. В данном документе отмечается, что для эффективного государственного управления в сфере водохозяйственных мероприятий и мероприятий по охране водных объектов, расположенных в границах речных бассейнов, необходимо разработать и внедрить схемы

комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). Эти Схемы должны стать «основным инструментом в обеспечении комплексного использования и охраны водных объектов» (Концепция, 1996) Но и здесь не обошлось без противоречий. Правительство РФ постановлением от 30 декабря 2006 г №883 «О порядке разработки, утверждения и реализации схем комплексного использования и охраны водных объектов, внесения изменений в эти схемы» определило, что Схемы разрабатываются Федеральным агентством водных ресурсов, а утверждаются Министерством природных ресурсов (МПР) России. Такой подход отвечает и нормам Водного кодекса и роли данного документа, который ему отводит Закон. Однако, несколько лет спустя, Постановлением Правительства РФ от 28 февраля 2014 года №160 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросу утверждения схем комплексного использования и охраны водных объектов», вопросы утверждения Схем были поручены Федеральному агентству водных ресурсов, которое, в свою очередь, перепоручило это делать своим территориальным органам – бассейновым водным управлениям. Подобное действие не совсем правомерно, т.к. значительно нивелирует роль Схем, как нормативно-технического документа, который устанавливается Водным кодексом РФ, и является обязательным для всех органов государственной власти и органов местного самоуправлении (Вильдяев, Логунов).

Добавив ко всему вышеперечисленному тот факт, что, начиная с 2010 года, финансирование водохозяйственных и водоохранных мероприятий осуществляется в соответствии с ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса страны на период до 2020 года», приходим к выводу, что программы, содержащиеся в Схемах, теряют значение программного документа, обязательного для выполнения всеми органами власти. А учитывая тот факта, что Схемы утверждаются территориальными органами Росводресурсов, следует признать, что они не могут являться нормативными правовыми (техническими) документами обязательными для исполнения.

Фактически, на практике мы видим, что Схемы могут служить только средством информационной и интеллектуальной поддержки решений, принимаемых в области управления водными объектами, в том числе и при разработке водохозяйственных и водоохранных программ как на государственном уровне, так и на уровне органов местного самоуправления.

Наиболее ощутимые успехи по внедрению принципов устойчивого развития наблюдаются в аграрном секторе. О чём свидетельствует законопроект «Федеральная целевая программа "Устойчивое развитие сельских территорий на 2014-2017 годы и на период до 2020 года" (с изменениями на 25 мая 2016 года). Данный документ был разработан Министерством сельского хозяйства РФ и подписан Правительством РФ 15 июля 2013 г. Целевая Программа предусматривает привлечение молодежи в сельскую местность путем стимулирования инвестиционной активности в агропромышленном комплексе, благодаря созданию благоприятных инфраструктурных условий, комфортных условий жизнедеятельности, высокотехнологичных рабочих мест в сельской местности с параллельным формированием позитивного отношения к сельскому образу жизни. В документе предписаны этапы, меры и задачи по увеличению роли и места сельских территорий в осуществлении стратегических социально-экономических преобразований на пути устойчивого развитии страны в целом. Кроме того Программой предусмотрены важнейшие целевые показатели и индикаторы развития сельских территорий.

В ходе экономических преобразований в сельскохозяйственной сфере создан и планово увеличивается производственный потенциал, чьё дальнейшее эффективное развитие, в частности, будет определяться и стабильностью комплексного развития сельских территорий и активизацией человеческого фактора экономического роста. Принимая во внимание ранее подписанные документы, мы можем судить, что одной из стратегически важных задач государства в сельскохозяйственном секторе стало

увеличение социально-экономического потенциала сельских территорий, а также придание этому процессу устойчивости и необратимости.

Реализация первого этапа Программы (2014-2017 гг.) улучшило обустройство жилищного фонда - увеличился уровень газификации (с 33,1 % до 56,5%), увеличилось количество сельского населения, имеющего доступ к питьевой водой (с 40,7 % до 59,6 %). Было построено большое количество учреждений социальной сферы: общеобразовательные школы (на 104,7 тыс. ученических мест), учреждения культурно-досугового типа (на 24,6 тыс. мест), районные и участковые больницы (на 6,1 тыс. мест), амбулаторно-поликлинических учреждения (на 7,5 тыс. посещений в смену), фельдшерско-акушерские пункты (на 751 единиц). Кроме того было проведено и реконструировано 11,5 тыс. км. линий электропередач. В результате проведенных действий наблюдается улучшение социально-демографическая ситуация. С 2002 по 2011 год коэффициент рождаемости увеличился на 34,3 процента, а коэффициент смертности снизился на 16,5 %.

Положительный эффект от реализации только первого этапа Программы свидетельствует о целесообразности использования программно-целевого метода для решения задачи по устойчивому развитию сельских территорий, а также подчёркивает взаимосвязь целевых установок устойчивого развития сельских территорий с приоритетами социально-экономического развития России, подчёркивает необходимость в создании социальных основ для экономического роста аграрного и других секторов экономики.

Заключение

Таким образом, единственная возможность решения глобальных проблем сегодняшнего дня, как в России, так и мире – это активное внедрение принципов устойчивого развития, применение целостного эколого-экономического подхода к экономическому росту, смена техногенного типа развития на устойчивый тип. Мы полагаем, что положительные индикаторы реализации «Федеральной целевой программы "Устойчивое развитие сельских территорий на 2014-2017 годы и на период до 2020 года" будет способствовать передаче опыта применения программно-целевого метода, функционирующего по принципу «сверху-вниз» в другие сферы российского общества и государства. Что касается сектора водных ресурсов, этот метод целесообразно дополнить принципом, который бы учитывал интересы водопользователей и водопотребителей, так называемый принцип «снизу-вверх».

Список литературы

Вильдяев В. М., Логунов О.Ю. Проблемы разработки и практического использования схем комплексного использования и охраны водных объектов. URL: http://npncvp.ru/pablikstatyi/SKIVOproblems.pdf. (дата обращения: 15.01.2018).

Концепция перехода РФ к устойчивому развитию. Утв. Указом Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440. (Собрание законодательства РФ, 1996 г., № 15, ст. 1572).

Коптюг В. А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.) Информационный обзор. Новосибирск, 1993, с. 39 http://www.prometeus.nsc.ru/koptyug/ideas/unrio92/unrio92.pdf (дата обращения: 10.01.2018).

Распоряжение Правительства РФ от 18 декабря 2012 г. № 2423-р // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2012. № 52. Ст. 7561.

Торкил Джонч-Клаусен. ИУВР и планы повышения эффективности водопользования. – М.: GWP TEC 2004. – 24 с.

Handbook for integrated water resources management in trans-boundary basin of rivers, lakes and aquifers, March 2012. URL: http://www.gwp.org/Global/GWP SAm_Files/Publicaciones/Varios/Manual_marzo2012_ingles.pdf (дата обращения: 15.01.2018).

UN CSD Indicators of Sustainable Development-3rd edition United Nations department of economic and Social Affairs, Division for Sustainable development. 2007. URL: http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/factsheet.pdf (дата обращения: 20.01.2018).

N World Summit for Sustainable Development. Johannesbourg, 2002. URL: http://www.un.org/events/wssd/ (дата обращения: 25.12.2017).

Water a Shared Responsibility. The UN World Water Development Report 2. UNESCOWWAP.2006. URL: http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409e.pdf (дата обращения: 20.01.2018).

Implementation of sustainable development strategy in the world and Russia

Tutynina T.I.
Perm State University, Perm
tanyatutynina@yandex.ru

Abstract: A model of society development aimed at rapid economic growth has led to the ecological crisis and has proven its failure. The present paper concerns the reasons for a new paradigm shift. The principles of sustainable development as a new paradigm and ideology are mentioned in the article. The features of national sustainable development strategies of Europe in the case study of Integrated Water Resources Management have been described in the paper. In Russia the same features are discussed in the case study of complex research and analysis of water objects schemes. The program of sustainable development of villages is also considered in the article.

Keywords: sustainable development, complex research and analysis of water object schemes, Integrated Water Resources Management, the program sustainable development of villages.

О классификации и районировании рек по водному режиму

***Фролова Н.Л.*, Киреева М.Б., Повалишникова Е.С., Панышева К.М.**
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва
frolova_nl@mail.ru

Аннотация: В работе прослеживается развитие в нашей стране и за рубежом различных теорий и подходов к районированию территорий по особенностям водного режима рек. К концу XX в. было создано большое количество классификаций рек по гидрологическому режиму. Их эволюция отражает изменение степени гидрометрической и гидролого-климатической изученности бассейнов рек, накопления научных знаний и представлений об условиях формирования стока. Значительный рост использования водных ресурсов во всех сферах мировой экономики и зависимость успешного экономического развития от количества доступных и возобновляемых водных ресурсов определили потребность в переходе от общегеографических, описательных классификаций и районирований к количественным, построенным на основе строгих расчетов параметров стока и разработке новых критериев, характеризующих актуальные для различных отраслей экономики особенности формирования водного режима рек.

Ключевые слова: водный режим, изменение климата, районирование, речной сток

Гидрологический режим – совокупность закономерно повторяющихся изменений состояния водного объекта, присущих ему и отличающих его от других водных объектов (ГОСТ 19179-73) как результат преобладающих типов питания и влияния географического положения и климата на водный объект. Неоднородность климатических и ландшафтных условий формирования водного режима рек послужили толчком для развития различных теорий и подходов к районированию крупных территорий по признакам сходства и различия в условиях формирования стока рек. Для наиболее полной характеристики водного режима рек возникла необходимость классификации водных потоков на классы, типы, виды и т.п. по наиболее важным для формирования стока и характерным признакам.

Первые попытки природного районирования территорий по водному режиму рек относятся к концу XIX– началу XX в. и связаны с тремя направлениями: 1) почвенно-ботаническим, 2) физико-географическим (ландшафтным) и, частично, климатическим, 3) сельскохозяйственным. К основополагающим работам начала XX в. следует отнести классификацию и идеи В.В. Докучаева, труды Е.П. Коровина и А.Н. Розанова, П.А. Тутковского, П.И. Савицкого, В.Н. Сукачева, в которой впервые упоминается о роли хозяйственной деятельности человека в формировании водного режима рек (Сукачев, 1942). Значительный вклад в развитие ландшафтного районирования внесли Л.С. Берг (Берг, 1947), М.А. Первухин (Первухин, 1938) и А.А. Григорьев (Григорьев, 1938), положивший начало климатическим моделям районирования как первопричине формирования стока, впоследствии получившим широкое развитие в работах М.И. Будыко (Григорьев, Будыко 1959). Собственно, гидрологическое районирование было впервые предпринято А.И. Воейковым в 1884 г. Он предложил классификацию рек мира, в основу которой легло утверждение «река – продукт климата». А.И. Воейков выделил три типа рек по преобладающему питанию и внутри этих типов 9 подтипов, учитывающих орографию и водный режим (Воейков, 1948). В 1925 г. В.П. Семенов-Тян-Шанский, предложил наряду с физико-географическими и климатическими аспектами районирования учитывать водность рек при выделении районов, однородных по водному режиму (Семенов-Тян-Шанский, 1925). Классификации были сугубо качественные,

описательные, а их основу составили различные типы питания рек. Дальнейшее деление на группы производилось с учетом различных по водности фаз гидрологического режима рек.

К середине XX в. появились еще 4 классификации водного режима: Л.К.Давыдова (1933), М.И.Львовича (1938), Б.Д.Зайкова (1946) и В.А.Троицкого (1948). Классификация В.А.Троицкого была сугубо климатической. В 1952 г. появилась работа Д.Л.Соколовского по внутригодовому распределению стока рек, но особого внимания она не заслуживает, т.к. представляет собой упрощенный вариант классификации Зайкова, не привязанный географически к конкретным регионам. В основу классификации Б.Д.Зайкова легло внутригодовое распределение стока, условия питания рек он не рассматривал. Тем не менее, выделение 10 типов водного режима позволило ему дать очень полную характеристику гидрологического режима рек СССР. В 1955 г. Л. К. Давыдовым была выполнена значимая работа по гидрологическому районированию. В результате им были выделены 15 гидрографических районов. Основным недостатком такого подхода является неучет многообразия водного режима средних и малых рек в пределах крупных речных водосборов.

Основное уязвимое место любой качественной классификации, очевидно, заключается в экспертном выборе критериев и границ выделения различных групп объектов. М.И. Львович первый предложил ввести более строгие количественные критерии при разработке гидрологического районирования. В его классификации границы типов питания рек получили вполне конкретные численные значения (<50, 50–80, >80%). При достаточно формализованном подходе к выделению возможных комбинаций внутригодового распределения стока и видов питания рек Львович получил матрицу из 144 вариантов, 38 из которых наблюдались на реках мира, а 20 – на территории СССР.

С первой половины XX в. в попытках обобщить имевшиеся к тому времени знания о стоке рек и распространить их на обширные неизученные территории стали активно разрабатываться и применяться гидрологические характеристики, дающие косвенные представления о величине стока, безразмерные вроде коэффициента стока или относительные как модуль стока (Федосеев, 2003). На их основе активно строились карты средних многолетних характеристик стока, выделялись районы с подобными условиями формирования водного режима (Глушков, 1933). Еще она попытка разработки классификаций на основе количественных критериев была предпринята В.И.Астраханцевым в 1958 г. В основе лежит деление территории по «зонам водности», критерием которой послужил модуль стока, характеристика, отражающая скорее не особенности водного режима рек, а их водоносность. Наиболее полная и разработанная классификация рек и гидрологическое районирование СССР были опубликованы П. С. Кузиным в 1960 г. (Кузин, 1960). Им была предпринята попытка совместить в своей классификации все основные аспекты формирования стока и учесть все недостатки предшествующих разработок других исследователей. В результате в основу классификации лег принцип однородности территории по основным стокоформирующим факторам: климата, типов питания рек, рельефа, ландшафта, внутригодового режима основных гидрологических характеристик. Типичность водного режима выявлялась по большинству створов речного бассейна. П.С. Кузин рассмотрел все аспекты географического ландшафта, учел значение площадей водосбора, разделив все реки на большие (> 50000 км^2), средние (2000-50000) и малые (1000-2000), типы питания рек, основные фазы водного режима, рассмотрел водоносность и водность рек, их сток, а также гидрологические сезоны, выделил основные фазы водного режима. В результате им было выделено 3 крупных типа и 14 подтипов водного режима рек отдельно для равнинных и горных территорий различных климатических зон (Кузин, 1960). Заметным достоинством классификации рек П. С. Кузина был анализ 15000 гидрографов по сотням

рек, который позволил автору выделить гидрологические районы и водные режимы рек, основываясь непосредственно на фактических данных.

Морфогенетический подход описания водных режимов – устойчивая традиция в отечественной гидрологии – лег в основу современной классификации рек России по водному режиму, разработанной сотрудниками кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова В. М. Евстигнеевым и Н. В. Шенберг в 2001 г. По результатам этой работы создана Карта водного режима рек России (Водный режим…, 2001), отражающая влияние широтной зональности, долготной дифференциации и высотной поясности на формирование водного режима рек, а также показаны индивидуальные особенности водного режима крупных речных систем в зависимости от степени их транзитности и направления течения, числа и характера охватываемых ими природных зон и географических регионов. В отличие от предшествующих в рассматриваемой классификации учтены в качестве признаков деления не только источники питания реки и виды многоводных фаз, но также и характер маловодных периодов года. Это позволяет более подробно и полно отразить территориальные различия в водном режиме рек России (Водный режим…, 2001).

В 2011 г. классификация Львовича была дополнена 20 новыми типами водного режима рек мира (Лукьянович, 2011). Автором статьи на основе расчетов 9000 водных балансов рек мира определены типы сезонного распределения стока для регионов, по которым у М. И. Львовича не имелось фактических данных. Была детализирована классификация типов водного режима и произведена оценка устойчивости типизации сезонной структуры стока на примере рек в разных географических поясах суши. В Национальном Атласе России (2008) предложена серия карт, совместный анализ которых позволяет дать полную характеристику водных режимов рек России, взаимосвязи стока с рельефом и климатическими условиями, его изменений в широтном и долготном направлениях.

Активное развитие и создание классификаций режимов рек в зарубежных странах (главным образом в Европе) шло с середины XX в. Одной из первых зарубежных классификаций, сочетавших физико-географический и гидрологический аспекты формирования стока, можно считать работу Парде, который в 1955 г. описал три основных типа режима рек: простой, смешанный и сложный (по количеству экстремумов в гидрографе и видов питания рек) (Musy, Higy, 2010). Каждый из типов делился на подтипы (гляциальный, нивальный, плювиальный) и их переходные формы, исходя из высотного положения бассейнов, качественного описания особенностей внутригодового распределения стока и введенных диапазонов изменения таких гидрологических характеристик, как модуль и коэффициент стока, а также амплитуда изменения стока. В 1906 г. в Канаде был издан атлас природных ресурсов страны, который к концу XX в. превратился в обширный Интернет-источник с подробными сведениями о всех природных ресурсах Канады, включая водные (http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/resources/maps). Здесь можно найти районирование Канады по основным климатическим и гидрологическим характеристикам, карты среднего многолетнего, сезонного и внутригодового распределения стока рек. Подобные ресурсы в настоящее время имеют многие развитые страны, проводящие детальные исследования водного режима рек на своей территории. Со второй половины XX в. с проведением детальных инструментальных исследований на реках стали развиваться классификации, в основе которых использовались преимущественно количественные параметры стока, непосредственно измеренные и рассчитанные, дающие представления о разных аспектах формирования внутригодового водного режима. Так, в 1989 г. в США были проанализированы данные многолетних гидрологических наблюдений по 78 водотокам,

бассейны которых расположены в континентальной части США (Poff, Ward, 1989) с целью разработки общей количественной характеристики изменчивости стока рек. Исходя из общей изменчивости стока, характерных типов режима наводнений и возможности пересыхания водотоков, для каждой реки были получены 11 итоговых наборов статистических данных.

Деттингер и Диаз (Dettinger, Diaz, 2000) для определения географических различий сезонной изменчивости стока рек использовали ряды среднемесячных расходов воды по данным 1345 постов наблюдений по всему миру. В 2012 г. была опубликована статья Ю. Олдена и др. (Olden et al., 2012) по обзору методологий гидрологической классификации и их применению в гидроэкологии. В 1988 г. в Мельбурне (Австралия) появилась работа Б. Финлайсон и Т. Макмахона (Finlayson, McMahon, 1988) о глобальной классификации режимов рек. В работе использовались собранные данные о 969 водных объектах, по которым проводилась классификация сезонных водных режимов рек на основе кластерного анализа среднемесячного стока, выраженного в процентах от среднегодового значения. В статье других австралийских исследователей (Kennard et al., 2010) представлена первая классификация типов водного режима, разработанная для всего австралийского континента. Классификация составлена на основе данных 120 критериев, описывающих экологически важные характеристики естественного гидрологического режима, полученные по данным расходов воды на 830 измерительных постах. В статье Т. Макмахона и др., (McMahon et al., 2007) обобщаются характеристики стока по данным наблюдений по 1221 рекам с естественным режимом по всему миру. Гидрологический режим рек Средиземноморья, значительная сезонная изменчивость их стока, обусловленная климатическими факторами, детально исследованы в работе (Oueslati et al., 2010). В основу классификации легли переменные, характеризующие изменчивость и прерывистость (пересыхание) стока. В результате по степени стабильности стока были выделены шесть типов водного режима, для более полного анализа водного режима для каждой реки были рассчитаны 40 различных гидрологических индексов и проведен статистический анализ их значимости с целью определить набор индексов водного режима, описывавших основные источники колебаний стока. Интересное исследование было проведено в начале 2000-х годов английским ученым Д. Боуэром (Bower et al., 2004). На примере 35 речных бассейнов Великобритании он предложил не только классификацию водных режимов рек, учитывающую внутригодовую изменчивость стока в течение всего гидрологического года, но и ввел новый индекс чувствительности для оценки климатической чувствительности режимов речного стока. Этот индекс служит средством оценки сложных связей между климатическими характеристиками и речным стоком, поскольку он определяет степень и вид связи между климатическими классификациями и типами водного режима рек. Использование индекса представляется перспективным для увязывания климатических моделей и гидрологических классификаций водного режима рек, что особенно актуально для районов с недостаточной изученностью стока.

Таким образом, к концу XX века было создано большое количество классификаций природных вод и рек по различным признакам: размерам, физическому состоянию, географическому положению, химическому составу, положению рек в речной системе, морфометрии, мутности, термическому и ледовому режиму, источникам питания, гидрологическому режиму, оценки повторяемости и ущерба от опасных гидрологических явлений. Их эволюция отражает изменение степени гидрометрической и гидролого-климатической изученности бассейнов рек, накопления научных знаний и представлений об условиях формирования стока. Значительный рост использования водных ресурсов во всех сферах мировой экономики и зависимость успешного экономического развития от количества доступных и возобновляемых водных ресурсов определили потребность в переходе от общегеографических, описательных классификаций и районирований к

количественным, построенным на основе строгих расчетов параметров стока и разработке новых критериев, характеризующих актуальные для различных отраслей экономики особенности формирования водного режима рек.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 17-05-41030 РГО-А и № 16–35–60080-мол_а_дк).

Список литературы

Берг Л. С. Географические зоны СССР. Географгиз. М. 1947.

Водный режим рек России и сопредельных территорий. Карта для высших учебных заведений масштаба 1:8 000 000 / В. М. Евстигнеев, Н. В. Шенберг, Н. В. Анисимова, А. А. Зайцев. — Новосибирская картографическая фабрика Роскартографии. Новосибирск, 2001.

Воейков А.И. Избранные сочинения. Т.1. М.-Л., 1948.

Глушков В. Г. Географо-гидрологический метод // Известия ГГИ. № 57–58. 1933: 5–9.

ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения.

Григорьев А. А. Опыт характеристики типов физико-географической среды // Проблемы физической географии. 1938. Т.V-VI.

Григорьев А. А., Будыко М. И. Классификация климатов СССР // Известия АН СССР. Серия географ. № 3. 1959: 129-132.

Давыдов Л.К. Гидрография СССР (воды суши). Ч.2. – гидрография районов. Л., 1955.

Зайков Б.Д. Средний сток и его распределение в году по территории СССР // Труды НИУ ГУГМС. Серия IV. Вып. 24. Л.-М., 1946: 67-95.

Кузин П. С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1960.

Лукьянович М.А. Генетическая и сезонная структуры речного стока континентов. // География и природные ресурсы. 2011. № 3: 125–133.

Львович М.И. Опыт классификации рек СССР // Труды ГГИ. Вып. 6. 1938: 58-104.

Национальный атлас России: в 4 т. М.: Роскартография, 2004-2008.

Первухин М. А. Ландшафтоведение в СССР // Землеведение. Т.XL. Вып.1, 1938: 66-77.

Семенов-Тян-Шанский В.П. Гидрологическая районизация Северной Евразии // Труды первого всероссийского гидрологического съезда. 7-14 мая 1924. Ленинград, 1925: 150-151.

Сукачев В. Н. Идея развития и фитоценология // Советская ботаника. № 1-3. 1942: 5-17.

Троицкий В.А. Гидрологическое районирование СССР. М.-Л., 1948.

Федосеев И.А. История проблемы классификации и районирования вод суши СССР. М., 2003.

Bower D. et al. Techniques for assessing the climatic sensitivity of river flow regimes // Hydrological Processes. №18. 2004: 2515-2543.

Dettinger M, Diaz H. 2000. Global characteristics of stream flow seasonality and variability. Journal of Hydrometeorology 1(8): 289–309.

Finlayson B.L. & McMahon T.A. Australia vs. the World: a comparative analysis of stream flow characteristics // Fluvial Geomorphology of Australia. Academic Press, Sydney. 1988: 17–40.

Kennard M. J. et al. Classification of natural flow regimes in Australia to support environmental flow management // Freshwater Biology. 2010: 171-193.

McMahon T. et al. Global stream flows - Part 1: Characteristics of annual stream flows // Journal of Hydrology. 2007. №347: 243-259.

Musy and Higy. Hydrology: Science of nature // Taylor & Francis, 2010.

Olden J., Kennard M. and Pusey B. A framework for hydrologic classification with a review of methodologies and applications in ecohydrology // Ecohydrology. 2012. № 5: 503-518.

Poff L. and Ward V. Implications of Streamflow Variability and Predictability for Lotic Community Structure: A Regional Analysis of Streamflow Patterns // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1989. Vol.46: 1805-1817.

Oueslati Ons et al. Attempts to flow regime classification and characterisation in mediterranean streams using multivariate analysis // Advances in statistical hydrology. 2010: 1-15.

About the classification and regionalization of rivers water regime

Frolova N.L., Kireeva M.B., Povalishnikova E.S., Panysheva K.M.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
frolova_nl@mail.ru

Abstract: In the work, the development of various theories and approaches to the regionalization of territories in terms of the water regime of rivers in our country and abroad is considered. By the end of the 20th century, a large number of river classifications of the hydrological regime was created. Their evolution reflects the change in the degree of hydrometric and hydrological-climatic study of river basins, the accumulation of scientific knowledge and ideas about the conditions of the formation of runoff. The significant increase of water resources use in all spheres of the world economy and the dependence of successful economic development on the number of accessible and renewable water resources have determined the need for a transition from general geographic, descriptive classifications and zoning to quantitative ones. New criteria characterizing the features of the formation of the water regime of rivers were developed.

Keywords: Water regime, climate change, zoning, river runoff.

Георадиолокационное исследование миграции донных отложений при взаимодействии русловых процессов р. Лена со свайной опорой инженерного сооружения

Христофоров И.И.*, Данилов К.П., Омельяненко П.А., Тананаев Н.И.
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН
khristoforov@mpi.ysn.ru

Аннотация: Хозяйственная деятельность человека вблизи крупных рек повышает интенсивность изменения русловых процессов. При строительстве и эксплуатации речных переходов линейных инженерных сооружений, а также сопутствующих гидротехнических сооружений происходит дополнительная деформация русла реки с размывом берегов, миграцией донных отложений и прочими негативными последствиями.

В среднем течении р. Лена, на участке в 25 км выше по течению от г. Якутска, расположены три крупных инженерных сооружения пересекающих реку. На данном участке между магистральной ЛЭП и магистральным газопроводом планируется строительство крупного мостового перехода через р. Лена. В виду большой ширины основного русла реки, которая на проектной оси составляет 2.5 км., при ширине долины в 7.5 км, в проекте предусмотрено большое количество опор, расположенных в русле реки. В двух километрах от проектной оси мостового перехода расположена опора ЛЭП, и в виду идентичности речных условий, она может послужить натурной моделью опор планируемого моста. Георадиолокационные исследования проведены с целью определения параметров размыва аллювиальных отложений вокруг опоры, его воздействие на миграцию донных отложений и оценке эффективности применения метода георадиолокации при исследовании взаимного воздействия инженерных сооружений с русловыми процессами на глубоководных реках с интенсивным ледоходом при весеннем половодье. Для обеспечения заданной глубины исследований (до 20 метров) с поверхности воды измерения выполнены специально разработанными линейными антеннами с центральной частотой 50 МГц и 100 МГц (производство ООО «Логис-Геотех»).

В результате проведения полевых исследований в разные годы определены зоны воздействия опоры на миграцию донных отложений, определены параметры размыва донных отложений и коренного дна возле опоры. Установлены оптимальные параметры мониторинговых гидрорадиолокационных исследований, и построена 3D модель участка реки с определением объемов вымытых донных отложений возле опоры ЛЭП. В результате воздействия русловых процессов на инженерную конструкцию в русле р. Лена в период весеннего половодья объем вынесенных донных отложений составил более 40 000 м^3. Экспериментально подтверждена эффективность применения методики гидрорадиолокации при исследовании участков речных переходов функционирующих инженерных сооружений линейного типа.

Ключевые слова: георадар, свайная опора, речной переход, мощность наносов, размывы опор, изменение русла реки.

Введение

Исследуемый участок реки находится на противоположном берегу русла реки от Табагинского утёса, и если рассматривать по течению реки, то расположен на входе в долину Туймаада. Долина Туймаада – это участок между Табаганским мысом и Кангаласским мысом, которая представляет повышенный интерес к исследованиям русловых процессов по причине наличия сложно разветвленного русла, подверженного

динамичным переформированиям, а также наличием антропогенного воздействия из-за чего постоянно смещаются крупные формы руслового рельефа (Чалов и др., 2016). По результатам исследований, полученных экспедицией МГУ им. М.В. Ломоносова в 1970 годы, впервые было отмечено, что значительные деформации русла р. Лены в долине Туймаада связаны с развитием инфраструктуры (Чалов, 1981, Зайцев и Чалов, 1989).

Магистральная линия электропередачи (ЛЭП) пересекает р. Лену в районе п. Табага, расположенный в 25 км выше по течению от г. Якутск. Рядом с опорой ЛЭП, расположенный в русле реки, находится гидропост Старая Табага, где есть полная информация о среднегодовом расходе в разные периоды, а также ежедневные отметки уровня реки в половодье и межень. Объект примечателен тем, что расположен в двух километрах от проектной оси планируемого мостового перехода через р. Лена, и может служить натурной моделью опор моста, в том числе при исследовании взаимного воздействия инженерных сооружений с русловыми процессами на глубоководных реках с интенсивным ледоходом при весеннем половодье.

Георадиолокационные исследования проведены с целью определения параметров размыва аллювиальных отложений вокруг опоры, его воздействие на миграцию донных отложений и оценке эффективности применения метода георадиолокации. Экспериментальные работы выполнены в несколько этапов в 2015 и 2017 гг., в период конец мая - начало июня, после полного прохождения весеннего половодья, так как известно, что значительное изменение русла реки происходят в этот период.

Методы и методики

Георадиолокационные исследования проведены специально разработанными линейными антеннами с центральной частотой 50 МГц и 100 МГц (производство ООО «Логис-Геотех»). Измерения проведены с поверхности воды с помощью резиновой ложки с подвесным мотором, а также специальной оснасткой для герметичного крепления антенн к лодке. Для привязки полученных данных измерений к реальным глубинам разреза, параметр диэлектрической проницаемости воды, с учетом небольшой девиации в зависимости от температуры воды в разные месяцы принят равным 81, что подтверждает сравнение с результатами данных эхолота. Для определения диэлектрической проницаемости наносов и донных отложений использованы данные скважин, выполненные ранее при проектировании магистрального газопровода, расположенного в 10 км ниже по течению, где было определено строго горизонтальное положение коренных пород. Далее с помощью обработки по процедуре «слои на профиле» георадиолокационный профиль с выявленной границей донных отложений, в данном случае граница песчаных наносов выпрямлена и рассчитана диэлектрическая проницаемость донных отложений. При этом есть небольшая погрешность определения диэлектрической проницаемости, связанная частотой дискретизации. В данном примере предел значений диэлектрической проницаемости донных отложений составляет от 38 до 40, для расчета выбирается среднее значение - 39, что соответствует сильно увлажненным (обводненным) отложениям.

При проведении георадиолокационной съемки, а также при обработке данных применена разработанная экспресс-методика (Омельяненко и Христофоров 2013). Экспресс-методика включает в себя оптимизированную методику гидрорадиолокационного измерения без погружения антенных, а также научно обоснованные параметры обработки данных, в частности выбора начальной точки отсчета для повышения точности определения по глубине, и подавления, имеющейся практически у всех низкочастотных георадаров, низких частот путем полосовой фильтрации и другие процедуры (Христофоров и др., 2015, 2016). Все профиля имеют привязку к GPS координатам для возможности повторения результатов для мониторинговых наблюдений. Обработка данных георадиолокации осуществлялась на программном обеспечении

GeoScan-32. Для визуализации и представления данных применены программные продукты Google Earth, Corel Draw X8, Surfer_v12.

Результаты

По предварительным рекогносцировочным измерениям определена площадь, которая с запасом покрывает все возможные размывы донных отложений, связанные с взаимодействием опоры и течения реки. На этой площадке построен план профилей, по которым проведены мониторинговые измерения в 2015 и 2017 года (Рис. 1а). Для примера представлены георадиолокационный разрезы по профилю 05 (Рис. 1б), а также продольный профиль 23 (Рис. 1в). Для этих разрезов представлена временная шкала (слева) прихода отраженных электромагнитных волн в наносекундах, и шкала глубин (справа) в метрах, выставленная по диэлектрической проницаемости 81 (вода). Определены пространственные параметры размыва аллювиальных отложений вокруг опоры ЛЭП, как ниже по течению опоры ЛЭП, так и выше для определения параметров подводной защитной конструкции и общего уровня аллювиальных отложений.

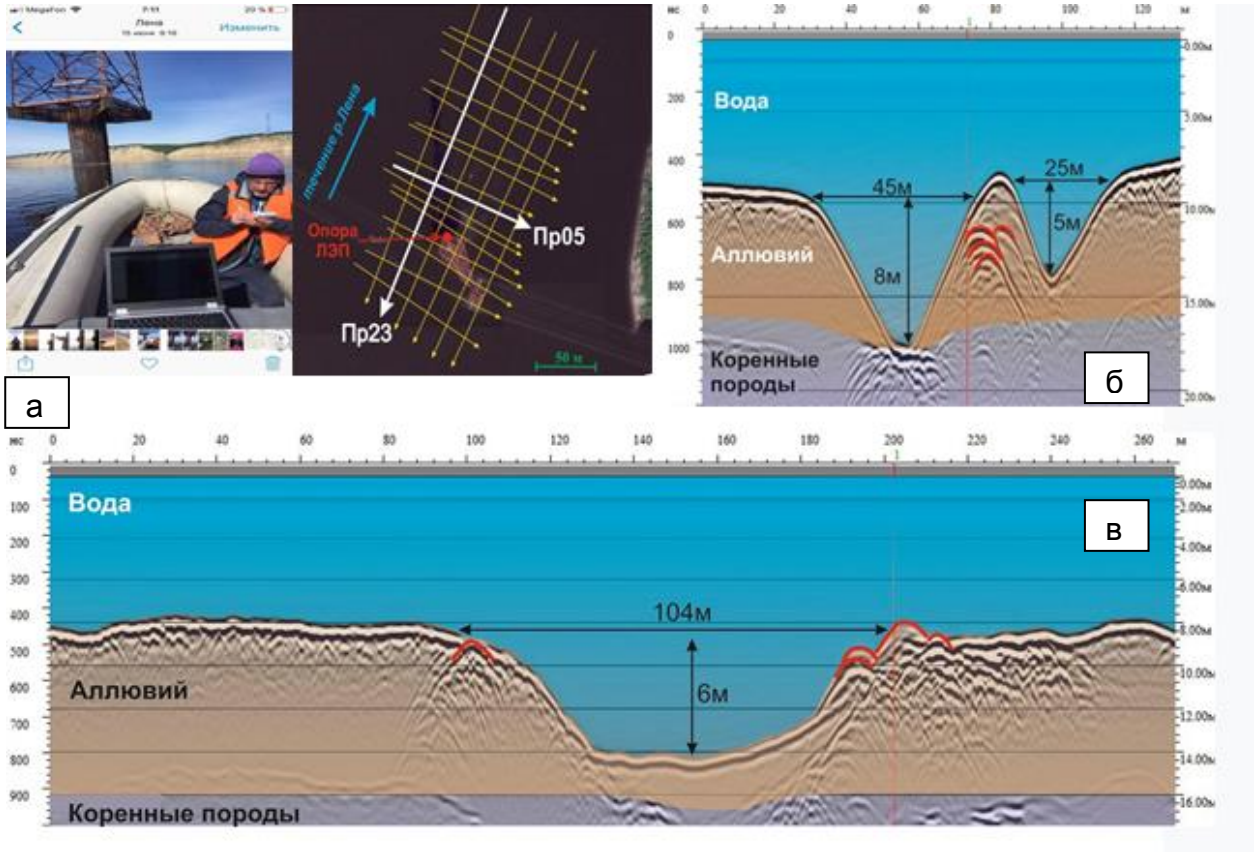


Рис. 1. Геофизические интерпретационные разрезы по профилям возле опоры ЛЭП, р. Лена а) Фото опоры ЛЭП и план профилей вокруг опоры ЛЭП б) Георадиолокационный разрез профилю Пр05 в) Георадиолокационный разрез профилю Пр23

Анализ результатов исследований показал, что ниже по течению от опоры ЛЭП есть два крупных размыва, причем размыв ближний к фарватеру реки значительно больше. Его параметры: глубина размыва – 18 метра от поверхности воды; протяженность по длине составляет более 100 метров с шириной более 45 метров. Учитывая среднюю глубину донных отложений возле опоры ЛЭП, равную 8 метров, а также средний уровень расположения коренных пород – 16 метров от поверхности воды на день измерений, то

происходит, не только размыв аллювиальных отложений, но и размыв коренных пород. Также определены параметры защитных конструкций, расположенных не только выше по течению, так называемый водорез, но и по бокам опоры. Кроме этого ниже по течению опоры в донных отложениях обнаружен крупный металлический объект (красные линии), по формам и большой протяженности напоминает лежащую металлическую опору башенного типа ЛЭП.

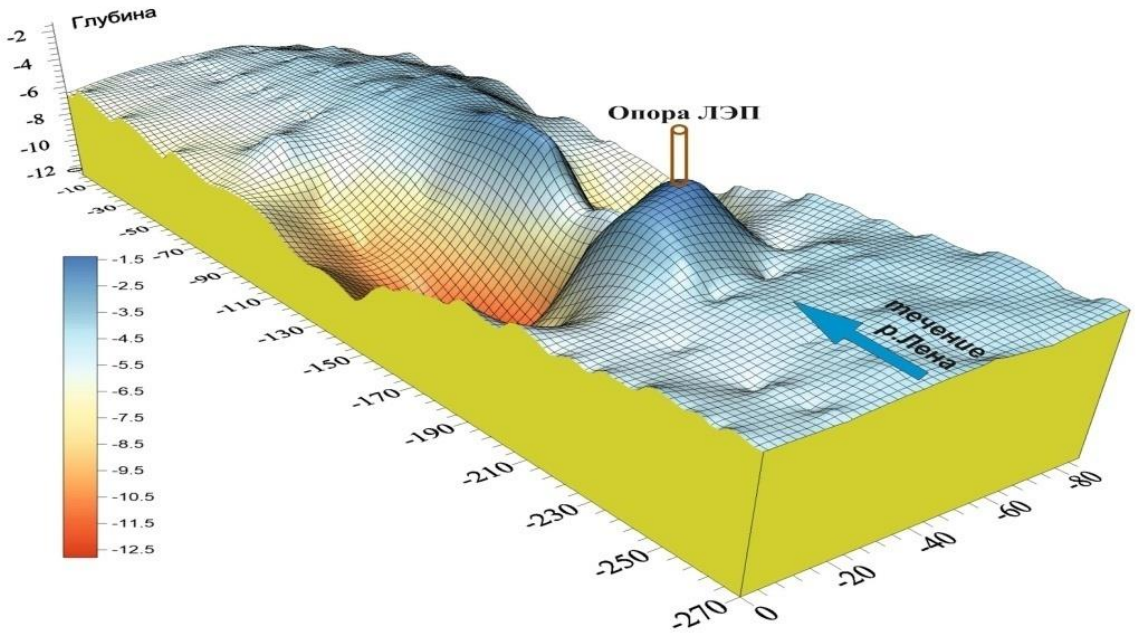


Рис. 2. 3D модель участка размыва донных отложений возле опоры ЛЭП, р. Лена

Мониторинговыми гидрорадариолокационными исследованиями вокруг опоры ЛЭП в русле р. Лена, получены новые георадарные данные вокруг опоры ЛЭП по ключевым участкам и контрольным профилям. Проведен сравнительный анализ результатов за последние 3 года, и построена 3D модель размыва донных отложений (Рис.2).

В результате воздействия сильного течения на опору образовались две большие, несимметричные углубления по обе стороны ниже по течению. Определены их параметры, где максимальная продольная длина размыва составляет 122 метра, ширина 41 метр, глубина 8.5 метра (относительно среднего уровня положения донных отложений выше по течению от опоры). Объем вынесенных донных отложений составляет более 40 000 м^3 (рассчитана по объему пустоты). Все профиля имеют привязку к GPS координатам для повторения результатов в последующие годы.

Определены дистанции влияния самой опоры на георадарные зондирования. Воздушные помехи, создаваемые железобетонной опорой распространены в виде звона, практически на всей глубине профиля, вплоть до 1200 наносекунд. Только на расстоянии 170 метров от самой опоры помехи не видны в диапазоне развертки - 1200 наносекунд. Большое количество взаимно перпендикулярных профилей, выполненные непосредственно под высоковольтными линиями передач, подтвердили незначительное влияние высоковольтных проводов на электромагнитные импульсы низкочастотного георадара.

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований на речном переходе установлены оптимальные параметры мониторинговых гидрорадиолокационных исследований, и построена 3D модель участка реки с определением параметров размыва

донных отложений и коренного дна, в результате воздействия русловых процессов на инженерную конструкцию в русле реки в период весеннего половодья (на примере опоры магистральной ЛЭП в р. Лена). Определены дистанции помех, создаваемых опорой ЛЭП на георадарные сигналы.

Результаты полученных исследований подтверждают эффективность применения экспресс-методики георадиолокации для оперативного, и в то же время детального, изучения участков речных переходов функционирующих инженерных сооружений линейного типа.

Список литературы

Чалов Р. С., Завадский А. С., Рулева С. Н., Кирик О. М., Прокопьев В. П., Андросов И. М., Сахаров А.И. Морфология, деформации, временные изменения русла р.Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска // Геоморфология, (3), 2016: 22–35.

Чалов Р.С. Эффективность прогноза переформирований сложноразветвленного русла и его практическое значение // Вестник МГУ. Сер. 5. География. № 4. 1981: 36–40

Зайцев А.А., Чалов Р.С. Русловые процессы и регулирование русла р. Лены в районе г. Якутска // Водные ресурсы, № 5., 1989: 75–81.

Омельяненко А.В., Христофоров И.И. Методологические возможности георадиолокационного исследования донных отложений северных рек // Проблемы региональной экологии, № 2., 2013: 51-54.

Христофоров И.И., Омельяненко П.А., Данилов К.П. Экспресс-методика гидрорадиолокационного исследования донных отложений водных объектов суши // «II Виноградовские чтения. Искусство гидрологии»: Материалы научно-практической конференции, СПб: «Арт-экспресс», СПб, 2015: 157-161.

Khristoforov I.I., Omelyanenko A.V., Omelyanenko P.A., Danilov K.P. Methodology for Study of River Crossing of Lineal Engineering Constructions by Submersible GPR // GPR-2016: Proceedings of 16th International Conference on Ground Penetrating Radar, HongKong, June 13-16, 2016: 409 – 413, DOI: 10.1109/ICGPR. 2016.7572670 IEEE Conference Publications.

Investigation of bottom sediments migration in the interaction of the Lena river channel processes with the pile support of the engineering structure by Ground Penetrating Radar

Khristoforov I.I.*, Danilov K.P., Omelyanenko P.A., Tananaev N.I.
Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Science
khristoforov@mpi.ysn.ru

Abstract: Economic activity near large rivers increases the intensity of channel transformation. During the construction and operation of river crossings of linear engineering structures, as well as related hydraulic structures, there is an additional deformation of the river bed with bank erosion, bottom sediments migration, and other negative consequences.

In the middle Lena River reach, about 25 kilometers upstream from Yakutsk, there are two existing river crossings, a power line and major gas pipeline. Construction of a large bridge across the Lena river is planned in this section. In view of the large width of the main channel, which on the project axis is 2.5 kilometers, and a valley width of 7.5 kilometers, the project design includes a large number of in-channel supports. Two kilometers upstream the bridge design axis is the transmission line pole, which, because of the identity of initial conditions, can serve as a full-scale model of the projected bridge supports. A GPR study has been carried out to determine the erosion rate of alluvial deposits around this power line support, its impact on the migration of bottom sediments. The effectiveness of GPR techniques in observing the engineering structures interaction with water flow was assessed. To ensure the desired depth of research (down to 20 m) from the surface of the water, measurements was made by specially designed linear antennas with a central frequency 50 MHz and 100 MHz (production of "Logis-GEOTECH").

As a result of field studies, the zones of influence of the support on migration of bottom sediments were determined in different years, the parameters of erosion of bottom sediments and the bottom near the support were determined. The optimal parameters of hydro-radar monitoring studies have been established, and a 3D model of the river section with the determination of the volumes of washed-out bottom sediments near the power line support has been built. As a result of the impact of riverbed processes on the engineering structure in the Lena river bed during the spring flood, the volume of displaced bottom sediments amounted to more than 40 000 m^3. Experiments confirmed the efficiency of the Submersible GPR method for study the functioning of linear engineering structures on river crossing of the rivers.

Keywords: Ground Penetrating Radar (GPR), pile support, river crossing, sediment thickness, erosion of pipe support, change of the river bed.

Содержание изотопов 2H и 18O в водах горных речных бассейнов Приморья, Дальний Восток России

***Шамов В.В.*[1], Токарев И.В.[2], Михайлик Т.А.[3], Козачек А.В.[4]**
[1]*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток,*
[2]*Ресурсный центр «Геомодель» СПбГУ, Санкт-Петербург*
[3]*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток*
[4]*Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург*
vatsuro@gmail.com

Аннотация: Приводятся новые детальные данные об изотопном (^{18}O и ^{2}H) составе вод в основных компонентах приповерхностного влагооборота на репрезентативных малых речных бассейнах южной части горной страны Сихотэ-Алинь (Тихоокеанская Россия) в летне-осенний период года. Показано, что для водосборов вблизи морского побережья характерен более тяжелый изотопный состав дождевых, речных и почвенных вод. Предполагается, что в относительно влажные годы воды континентальных горных районов Приморья по изотопному составу в среднем легче в сравнении с районами побережья приблизительно в 1,5 раза. Для "морских" водосборов лизиметрические воды и воды приповерхностных склоновых предпочтительных водопроводящих путей в изотопном отношении практически неразличимы, тогда как для континентальных водосборов лизиметрические воды близки в этом смысле к речным водам, а склоновые – отличаются чуть более легким изотопным составом. В целом близкие значения природных изотопов в почвенных и речных водах обоих районов указывают на определяющую долю склоновых вод в питании малых рек и, соответственно, низкие значения долей базисного стока (подземного питания) и дождевых вод.

Ключевые слова: влагооборот, изотопный состав, атмосферные, почвенные и речные воды, Дальний Восток России

Введение

Изменения изотопного состава природной воды уже давно рассматриваются как индикатор, характеризующий приуроченность этой воды к различным звеньям гидрологического цикла (Gat, 1996; Aggrawal et al., 2005; Ферронский, Поляков, 2009; Sanchez-Murillo et al., 2015; и др.). Наиболее существенным является изменение изотопного состава воды как в процессе испарения с поверхности океана и других водных поверхностей, так и в обратном процессе конденсации при формировании атмосферных осадков. Как результат, в метеорных (атмосферных) водах уменьшается количество тяжёлых изотопов водорода и кислорода по сравнению с океаническими водами, при этом воды таких объектов, как озёра, растения, почвы, где доля испарения (транспирации) в общем водном балансе велика, относительно богаты такими изотопами. При прохождении через водоносные горизонты при неизменной окружающей температуре подземные воды характеризуются устойчивым изотопным составом (при её повышении взаимодействие с горными породами может привести к изменению изотопного состава воды). Отмеченные изменения состава изотопов в атмосферных, поверхностных, почвенных и грунтовых водах, а также в биосфере, применяются для характеристики гидрологических систем и процессов.

К настоящему времени отрывочные данные о содержании природных изотопов в водах ландшафтов юга Дальнего Востока России получены хабаровскими гидрогеологами (Труфанов и др., 1975), а также специалистами Дальневосточного отделения РАН (Чудаева и др., 2008; Харитонова и др., 2012). Анализ межсезонной динамики изотопов ^{2}H

и ^{18}O в основных географических типах вод горных речных бассейнов региона приводится впервые.

Материалы и методы

В рамках программы натурных исследований формирования стока в процессе детальных гидролого-гидрохимических наблюдений на репрезентативных малых речных водосборах в южной части горной страны Сихотэ-Алинь в тёплые периоды 2014 и 2015 годов были массово отобраны пробы дождевой, почвенной и речной воды для последующего их анализа на содержание изотопов δ^2H и $\delta^{18}O$. Один из районов исследований представляет собой часть территории Верхнеуссурийского биоценологического стационара Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН. Стационар расположен в бассейне р. Правой Соколовки в верховьях р. Уссури и представлен экспериментальными малыми речными водосборами, типичными для природы южного Сихотэ-Алиня. Ландшафтное описание данного района приводится в ряде публикаций (Кожевникова, 2014; Boldeskul et al., 2016; Shamov et al., 2017). Второй район исследований расположен близ побережья Японского моря и примыкает к экспедиционной базе "Смычка" Тихоокеанского института географии ДВО РАН (пос. Смычка Приморского края РФ). Данный район в ландшафтном отношении характеризует восточный макросклон южного Сихотэ-Алиня. Описание условий района можно найти в недавней публикации (Shamov et al., 2017).

Отбор проб воды производился в октябре 2013 и в июне–сентябре 2014, 2015 и 2016 гг. в пластиковую и стеклянную посуду объемом от 2 до 10 мл с последующей герметизацией и хранением при температуре от 0 до 14ºС. В указанные периоды были отобраны и признаны по условиям хранения надежными 348 нефильтрованных проб дождевых, почвенных (извлечённых с помощью вакуумных лизиметров) и речных вод для последующего их анализа на содержание природных изотопов – ^{18}O и ^2H (D).

Анализ изотопного состава образцов 2013 года выполнялся на лазерном анализаторе изотопного состава воды Picarro L2120-i (PICARRO) в Лаборатории изменений климата и окружающей среды (ЛИКОС) Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ). Каждый образец измерялся один раз, через каждые пять измерений образцов выполнялись измерения рабочего стандарта лаборатории, близкого по изотопному составу к значениям измеряемых образцов. Некоторые случайно выбранные образцы (10 % общего числа) для контроля качества измерений обрабатывались дважды. Воспроизводимость результатов составила 0,06 ‰ для 18O и 0,30 ‰ для D. В 2014 году анализ проб воды осуществлен в Тихоокеанском океанологическом институте (ТОИ) ДВО РАН на лазерном анализаторе Picarro L-2130-i. При этом использовались стандарты МАГАТЭ. Воспроизводимость измерений, определенная путем повторного измерения проб, оказалась равной 0,04 ‰ для $\delta^{18}O$ и 0,5 ‰ для δD. В 2015 и 2016 гг. пробы анализировались в Ресурсном центре "Геомодель" (Научный парк СПбГУ) на лазерном анализаторе воды Picarro L-2120-i. Неопределенность измерений составляет ±0,12 ‰ по $\delta^{18}O$ и ±1,3 ‰ по δD, использованы стандарты V-SMOW-2, GISP и LASP, USGS45 и USGS46. Данные анализа представлены в форме отклонения доли от VSMOWL в промилле (‰).

Результаты

Графически основные результаты анализа изотопного состава представлены на рисунке ниже. Из него следует, что водосборы, расположенные вблизи морского побережья (бассейн р. Падь Васькова) отличаются заметно более тяжёлым изотопным составом вод речных и склоновых потоков, а также почвенных/лизиметрических вод в сравнении с континентальными водосборами (бассейн р. Прав. Соколовки). Это связано, очевидно, с влиянием испарения с морской поверхности на состав вод прибрежных районов.

Изотопный состав дождевых и подкроновых (собранных под древесным пологом) вод в обоих указанных районах отличается большим разбросом на фоне сравнительно небольшой выборки и, как следствие, невысокой статистической надёжности, хотя нужно

отметить, что в среднем изотопный состав атмосферных вод тяжелее по отношению к почвенным и речным/склоновым водам. В относительно более сухие 2013 и 2014 гг. содержание изотопов ^{18}O и ^{2}H в почвенных водах верховьев р. Правой Соколовки испытывают больший диапазон колебаний и несколько выше в сравнении с пробами более влажных 2015 и 2016 гг. Изменение наклона прямой, аппроксимирующей связь $тм^{18}O$ и $тм^{2}H$, указывает на возрастание ^{18}O при одном и том же уровне ^{2}H в почвенных водах по сравнению с метеорными водами (например, см. средний график на рис.). Наклон меняется в пределах одного района при переходе от проб атмосферных вод к почвенным и водам склоновых предпочтительных путей стекания. Обогащение подземных вод изотопом ^{18}O может быть обусловлено обменными процессами воды с подстилающими силикатными породами при агрессивном воздействии на них углекислоты (Ветштейн, 1982). Для почвенных вод континентальных районов возрастание доли тяжелых изотопов кислорода может быть связано, в первую очередь, с процессами испарения, при которых молекулы воды, включающие ^{16}O, легче и, следовательно, улетучиваются в атмосферу в относительно большем объёме, чем молекулы с ^{18}O (Moravec et al., 2010; Klaus et al., 2015).

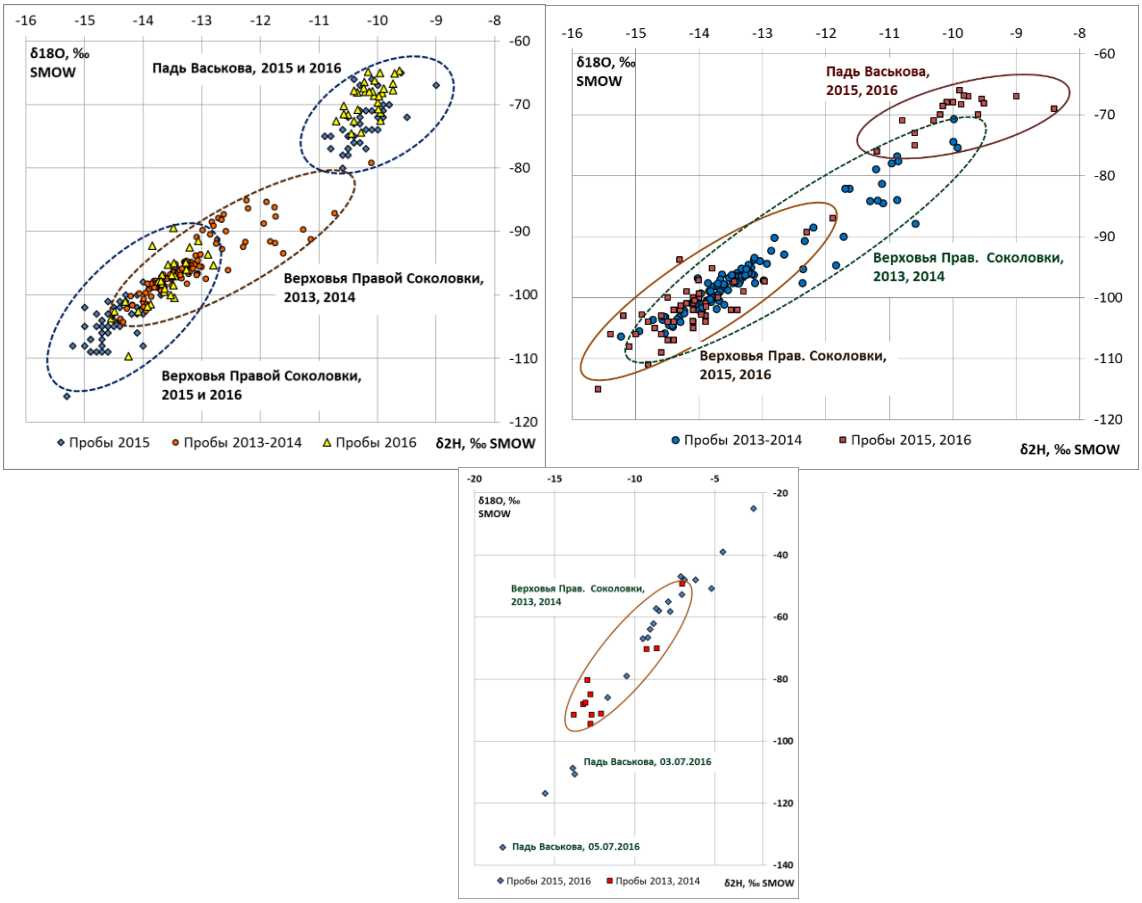


Рис. 1 Содержание ^{18}O и ^{2}H в пробах (сверху вниз) речных, почвенных и атмосферных вод в бассейнах р. Правой Соколовки и р. Падди Васькова.

В зависимости от соотношения долей дождевых и почвенных вод в объёме речного стока меняется изотопный состав речных проб, отобранных в период формирования дождевого паводка. При этом сильно изменяется амплитуда и направленность колебания данного состава как от паводка к паводку, так и в пределах одного паводкового цикла, что указывает на сложность генетической структуры паводочного стока, очевидно, заметно

меняющейся во времени. Основной объем среднего по силе дождевого паводка сопровождается обычно в целом снижением количества тяжёлых изотопов в речных пробах (например, $\text{тм}^{18}O$ – от -11 до -14 ‰).

Во время многодневной летней межени, когда может наблюдаться квантование слоя стокообразования даже на реках II порядка, в пробах из первичных водотоков $\text{тм}^{18}O$ возрастает от -13,5 до -10 ‰, что, очевидно, связано с доминированием в это время на водосборах процессов эвапотранспирации. Данное утяжеление изотопного состава, по некоторым данным для рек I порядка, бывает более значительным, чем таковое, вызванное поступлением в речные потоки дождевых вод ($\text{тм}^{18}O$ – от -14 до -12 ‰). В осеннюю межень – к концу сентября – началу октября – приток тепла сокращается, вегетация прекращается, испарение существенно уменьшается, изотопный состав при этом практически мало отличим от состава речных вод, отобранных в период прохождения паводка и отражающих приток склоновых/почвенных вод.

Выводы

Выявлено, что для водосборов, расположенных вблизи морского побережья характерен более тяжелый изотопный состав дождевых, речных и почвенных вод. Атмосферные воды в пределах исследованных районов не имеют тенденции образовывать непересекающиеся группы. Воды континентальных горных районов Приморья по изотопному составу в целом легче в сравнении с районами побережья приблизительно в 1,5 раза, вероятно, в связи с влиянием на состав вод прибрежных водосборов процессов испарения с морской поверхности. Для "морских" водосборов лизиметрические воды и воды приповерхностных склоновых предпочтительных водопроводящих путей в изотопном отношении практически неразличимы, тогда как для континентальных водосборов лизиметрические воды близки в этом смысле к речным водам, а склоновые – отличаются чуть более легким изотопным составом. Изотопный состав речных вод испытывает сложную неоднозначную динамику в процессе развития дождевого паводка, отражая изменения генетической структуры паводочного стока. В целом близкие значения долей природных изотопов в почвенных и речных водах обоих районов указывают на определяющую долю склоновых вод в питании малых рек района и, соответственно, низкие значения долей базисного стока (подземного питания) и дождевых вод.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 16-05-00541, 16-05-00182, 17-05-00217) и комплексной программы ФАНО "Дальний Восток" (проекты 15-I-6-089, 18-5-089).

Список литературы

Ветштейн В.Е. Изотопы кислорода и водорода природных вод СССР. Л.: Недра, 1982. 216 с.

Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г., Шамов В.В., Гарцман Б.И., Губарева Т.С. Особенности формирования химического состава природных вод в горных лесных бассейнах // Чтения памяти В.Я. Леванидова. № 6, 2014: 316-323.

Труфанов А.И., Иванов В.Г., Караванов К.П., Кислицын Л.В. Дейтерий и процессы формирования природных вод юга Дальнего Востока // Ресурсы и химический состав природных вод Дальнего Востока / Вопросы географии Дальнего Востока. Сб. пятнадцатый. Хабаровск: Книжное изд-во, 1975: 129-136.

Харитонова Н.А., Челноков Г.А., Брагин И.В., Вах Е.А. Изотопный состав природных вод юга Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. Т. 31, № 2, 2012: 75-86.

Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. М.: Научный мир, 2009: 632.

Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Химический и изотопный ($^{18}O/^{16}O$ и $D/^{1}H$) состав грунтовых вод некоторых районов Приморья // Тихоокеанская геология. Т. 27, № 6, 2008: 57-64.

Aggrawal P.K., Gat J.R., Froehlich K.F.O. Isotopes in the water cycle: past, present and future of a developing science / International Atomic Energy Agency. Netherlands. Springer, 2005: 381.

Boldeskul A.G., Shamov V.V., Gartsman B.I., Kozhevnikova N.K., Gubareva T.S., Lutsenko T.N. Chemical composition of geographical types of the small river basin waters (Central Sikhote-Alin Mountains, Pacific Asia) // Water Resources, Vol. 43, 1. 2016: 112-124.

Klaus J., McDonnell J.J., Jackson C.R., Du E., Griffiths N.A. Where does streamwater come from in low-relief forested watersheds? A dual-isotope approach // Hydrol. Earth Syst. Sci. 19, 2015: 125-135.

Gat J.R. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 24, 1996: 225-62.

Moravec B.G., Keller C.K., Smith J.L., Allen-King R.M., Goodwin A.J., Fairley J.P., Larson P.B. Oxigen-18 dynamics in precipitation and streamflow in a semi-arid agricultural watershed, Eastern Washington, USA // Hydrol. Process. 24, 2010: 446-460.

PICARRO L2120-i ™D and ™18O Analyzer [http://www.picarro.com/assets/docs/water_isotopes_liquidvapor_datasheet.pdf].

Sánchez-Murillo R., Brooks E.S., Elliot W.J., Boll J. Isotope hydrology and baseflow geochemistry in natural and human-altered watersheds in the Inland Pacific Northwest, USA // Isotopes in Environmental and Health Studies. 2015: http://dx.doi.org/10.1080/10256016.2015.1008468.

Shamov V., Gartsman B., Shekman E., Gubareva T., Tarbeeva A., Lupakov S., Chelnokov G., Kozhevnikova N., Burdukovskiy M., Orlyakovskiy A. Tracer studies of preferential water flow paths in mountain slopes, Pacific Russia // Proc. 21st International Northern Research Basins Symposium and Workshop. Yakutsk, Russia, August 6–12. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2017: 113-122.

Data on 2H and 18O in water sample from mountain catchments in Primorye area, Pacific Russia

***Shamov V.V.*[1], *Tokarev I.V.*[2], *Mikhailik T.A.*[3], *Kozachek A.V.*[4]**

[1]*Pacific Institute of Geography FEB RAS, Vladivostok*

[2]*Centre for Geo-Environmental Research and Modelling (GEOMODEL), Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg*

[3]*Pacific oceanographic institute FEB RAS, Vladivostok*

[4]*State Research Center "Arctic and Antarctic Research Institute", Saint-Petersburg*

vatsuro@gmail.com

Abstract: New detailed data on ^{18}O и ^{2}H in principal near-surficial water cycle chains at representative small catchments in the south part of Sikhote-Alin Mountains (Pacific Russia) during warm period of year are given. It is found the seashore catchments have the heavier isotope composition of atmospheric, river and soil water. Supposedly, according to results obtained, in quite humid years the water in continental mountain areas of Primorye has less ^{18}O и ^{2}H against seashore landscapes approximately in 1.5 times. Soil (lysimetric) water samples and water samples from slope sub-surface preferential flow paths from seashore catchments are almost indistinguishable whereas ^{18}O и ^{2}H in lysimetric and river samples from continental catchments are close, but samples from slope preferential flow paths have easier isotope composition. Totally, close ^{18}O и ^{2}H values in soil and river samples from the both areas point to the biggest share of slope water in integral river flow at small catchments there, and, accordingly, low share of underground and rain water inflow.

Keywords: water cycle; isotope composition; atmospheric, soil and river water, Pacific Russia

Моделирование структуры речного бассейна на основе средств ГИС

***Шекман Е.А.*[1], *Гарцман Б.И.*[2]**
[1] *Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток*
[2] *Институт водных проблем РАН, Москва*
shekman.e@gmail.com

Аннотация: Цифровые модели рельефа (ЦМР) являются типичной трехмерной пространственной моделью, которая выступает основой для решения широкого спектра фундаментальных и прикладных задач. ЦМР в совокупности с современными вычислительными возможностями и широким спектром готовых программных продуктов для обработки информации представляет широкие возможности для моделирования процессов формирования и функционирования сети стока для выбранной территории. Построение корректной модели для крупного водосборного бассейна является сложной методической задачей.

Большинство существующих подходов опираются на построение на основе различной формы критериальных индексов. В данной статье рассмотрено использование комплексного энергетического индекса (Complex Energy Index, CEI) в целях параметризации условий формирования речной сети и развитие на его основе методов структурно-гидрологического анализа речных систем и пространственной организации главных структурных элементов речного бассейна, речной сети и сети водоразделов, в рамках единой порядковой концепции. Использование CEI было апробировано в широком спектре физико-географических условий для моделирования речной сети.

Полученная модель речной сети использовалась в качестве основы для построения сети водоразделов. Для их порядковой классификации в качестве альтернативы существующим подходам был сформулирован принцип определения порядка на основе путей стока с водораздела до замыкающего створа по звеньям русловой сети разных порядков. Руководствуясь данным принципом была создана схема водоразделов крупного речного бассейна, иллюстрирующая основные особенности пространственной организации малых речных бассейнов, геологическую структуру и историю развития рельефа территории.

Использование единой порядковой концепции делает возможным усовершенствование типизации частных водосборов в зависимости от порядка водораздела.

Ключевые слова: Речная сеть, морфология бассейна, порядки водотоков, порядковая классификация водоразделов, структурно-гидрографический анализ, цифровая модель рельефа.

Введение

На протяжении своего развития гидрология суши и географические науки в целом прошли огромный путь от элементарных описаний, формулируемых простыми вопросами «что?» и «где?» до развития сложной инструментальной базы и накопления огромных массивов данных с целью понимания основных свойств физико-географических объектов и явлений, которые являются неотъемлемой составляющей жизни человеческого общества, определяя на разных исторических этапах его развитие и хозяйственную деятельность.

По мере накопления знаний, ключевым вопросом современной гидрологии стало прогнозирование процессов, что повлекло за собой появление широкого спектра гидрологических моделей, оперирующих различными наборами данных. Основным «полигоном» моделирования является речной бассейн, как одна из ключевых

составляющих природного каркаса территории, связанная общим потоком вещества и энергии. Еще в XIX веке был высказан тезис о том, водоразделы и тальвеги являются главными структурными линиями рельефа и находятся в тесной взаимосвязи (Cayley, 1859), определяя эти потоки. Исходя из данного положения, моделирование морфологической структуры речного бассейна подразумевает корректное выделение как речной сети, так и системы водоразделов.

Главной задачей при моделировании структурных элементов речного бассейна, является корректное задание условий их выделения Современные подходы к моделированию гидрографической сети средствами ГИС опираются на обработку цифровых моделей рельефа (ЦМР) с применением различного рода индексов, используемых для параметризации условий существования постоянного водотока на основе разных критериев. Широкое применение получило использование задания пороговой площади водосбора, исходя из эмпирической зависимости между площадью водосбора и аккумулируемым стоком. Также используются и другие, более сложные индексы, оперирующие дополнительными морфометрическими и литологическими характеристиками.

Построение сети водоразделов в данной ситуации является сопряженной задачей, корректность выполнения которой полностью зависит от возможности корректной реализации моделирования гидрографической сети.

Материалы и методы

Для реализации построений использовалось ЦМР-покрытие на основе данных съемки SRTM 3 с разрешением 3 арк. сек. с квадратным пикселом размера 75x75 м. Все построения и расчеты выполнялись с помощью ГИС пакета ArcMap 10.

В качестве методической основы для моделирования в данной работе служит использование "комплексного энергетического индекса" (Complex Energy Index, CEI) (1), который представляет собой функцию от климатического стока и морфометрических условий рельефа в каждой точке бассейна, обеспечивая таким образом независимую параметризацию геоморфологических и гидроклиматических условий формирования речной сети (Гарцман, 2013). Учет геологических и литологических условий осуществляется путем калибровки оптимального порогового значения индекса CEI, достигая максимального соответствия с реальной речной сетью, полученной путем ручной оцифровки по топографическим картам масштаба, сопоставимого с разрешением используемой ЦМР.

$$E^*_i \propto A_i(P\text{-}ET)\Delta z_i \quad (1)$$

где Ai – площадь водосбора в точке i, Δzi – локальный уклон, P-ET – климатический сток.

Полученная модель выступает основой для построения отдельных растровых мозаик границ водосборов рек разных порядков. Сама по себе сетка водоразделов не несет особой информативности, кроме информации о пространственном разделении потоков вещества и энергии. При этом видится необходимым их систематизация.

Полученные мозаики границ водосборов рек разных порядков переклассифицируются с присвоением значения $n \times 10^{n-1}$, где n – текущий порядок мозаики. В дальнейшем полученные растры суммируются и получаем полный растр границ всех частных водосборов, значения которого характеризуют, водоразделом рек каких порядков одновременно является данная точка растра.

Традиционные методы определения порядка водораздельных линий были предложены В.П. Философовым (1975) и базировались на применении классификация водотоков Хортона-Стралера.

Порядковая классификация водотоков базируется на основополагающем свойстве речных потоков образовывать при последовательном слиянии древовидную структуру со

ступенчатым нарастанием основных параметров системы. Стабильность структуры при этом поддерживается непрерывной деятельностью мощных потоков вещества и энергии, направленных вдоль каждого элемента сети и гармонизированных в рамках системы в целом. Конкретное положение водораздела формируется в результате воздействия разнородных и противоположно направленных процессов. С учетом этого обстоятельства становится понятно, что попытка применения алгоритма порядковой классификации по Хортону-Стралеру, к водораздельным сетям не будет состоятельна (Гарцман и др., 2016).

Исходя из этого, логично предположить, что при классификации водоразделов стоит исходить из необходимости взаимосвязи порядковых характеристик. В любом элементарном речном бассейне водораздел и водоток объединяет общее направление потоков вещества и энергии к замыкающему створу, таким образом видится возможным разработка классификация водоразделов в рамках единой порядковой концепции с речной сетью, основываясь последовательности «пути добегания» с водораздела до замыкающего створа по водотокам разных порядков. При суммировании растровых мозаик водоразделов происходит идентификация порядковой последовательности стока. Например, последовательность для участка водораздела бассейна реки пятого порядка в виде $x_5 - x_4 - x_3 - x_2 - x_1$ или *54321* будет означать, что это участок водораздела пятого порядка, сток с которого проходит через все возможные порядки речной сети данного бассейна, или же $x_5 - x_0 - x_0 - x_2 - x_1$ или *50021*, будет означать, что это участок водораздела второго порядка, сток с которого осуществляется, минуя водотоки 3 и 4 порядков, в главную реку пятого порядка. Таким образом обеспечивается обоснованное соответствие структуры и порядковой классификации речной сети и водоразделов.

Результаты

С использованием комплексного энергетического индекса авторами была смоделирована и откалибрована речная сеть для 16 бассейнов, расположенных в широком диапазоне климатических и геоморфологических условий в пределах юга Дальнего Востока (Гарцман и Шекман, 2016). Для калибровки значений и визуального сопоставления результатов применялся векторный слой, полученный в результате ручной оцифровки речной сети, отраженной на карте масштаба 1:100000, что сопоставимо с разрешением используемой ЦМР.

При проведении сравнения полученных моделей с реально существующей речной сетью был установлен ряд закономерностей, которые позволяют говорить о существовании отдельных доминирующих факторов развития речной сети на определенных участках. Эти факторы носят как правило исторический характер и демонстрируют несостоятельность математических подходов к моделированию в рамках длительной эволюции физико-географического объекта.

Несоответствие модели с реальной гидрографической сетью имеет отчетливую корреляцию с участками перестройки речной сети в прошлом. Ввиду того, что имеются существенные различия в интенсивности воздействия тех или иных факторов формирования речной сети во времени, а речная сеть является унаследованным результатом условий прошлого, то модель во многом характеризует современные тенденции ее развития. При этом моделируемая речная сеть демонстрирует высокую степень соответствия структуры и планового положения основных узлов слияния на равновесных речных бассейнах.

Использование в формуле расчета индекса климатического стока позволило существенно нивелировать расхождения, связанные с неоднородностью ландшафтных и климатических условий в пределах бассейнов.

На основе полученных моделей речной сети, на примере нескольких бассейнов, была протестирована предложенная методика порядковой классификации.

Использование полученных последовательностей в чистом виде представляет определенную сложность ввиду наличия большого числа вариаций. Так для бассейна

порядка n число вариантов последовательности будет равно 2n-1, что для бассейна 8 порядка дает 255 теоретически возможных комбинаций поэтому порядок n присваивается участку водораздела, принадлежащему полной водораздельной линии бассейна порядка n при условии, что путь добегания от него до водотока порядка n является «полным», т.е. минуя все промежуточные порядки.

Полученная сеть водоразделов показывает, что водоразделы старших, несмотря на сегментированность на отдельных участках, отчетливо оконтуривают отдельные однородные по характеру рельефа, уклонов, геологическому строению, рисунку гидрографической сети области речных бассейнов.

Другой важной особенностью сегментированности водораздела старшего порядка, как в случае бассейна р. Уссури, является то, что в прошлом на участках крупных разрывов происходили существенные плановые перестройки речной сети с перераспределением стока в пользу противоположного макросклона (Короткий и Коробов, 2008).

Описание речной сети и водоразделов в рамках единой порядковой концепции позволяет также использовать данные характеристики для уточнения типизации частных водосборов одного порядка в зависимости от порядка водораздела.

Выводы

Используемая формула расчета индекса, используемого для построений, не учитывает в явной форме литологические и геологические особенности территории с чем вызывает сложности при реализации построений для крупных неоднородных речных бассейнов, что потребует отдельного зонирования речного бассейна и проведения независимой калибровки для разных его частей. Данное обстоятельство не представляет существенной проблемы, т.к. все построения реализованы в рамках единого программного алгоритма и не требуют существенных трудозатрат на подготовку. Индекс в данной форме показал удовлетворительные результаты построений для всех речных бассейнов и в дальнейшем перспективен к совершенствованию с использованием дополнительных наборов геоданных.

Также видится перспективным использование видоизмененного слоя осадков, как одного из инструментов прогноза поведения эрозионной сети при разных климатических сценариях.

Процедура выделения и классификации водоразделов в данный момент требует дополнительной отладки в связи с невозможностью полной автоматизации.

Дополнительную сложность представляет и использование в качестве основы растра, на котором система водоразделов представлена в виде приводораздельных пикселов, лежащих на границах разных бассейнов. Достаточно часто подобные водоразделы имеют разный порядок по разные стороны, и возникают определенные трудности с их классификацией.

Разработка и использование взаимосвязанной порядковой классификации водотоков и водоразделов позволяет уточнить особенности иерархической организации частных водосборов речного бассейна, делая возможным более детальную типизацию частных водосборов, с использованием порядка водораздела, который характеризует его морфологические и функциональные особенности. На этой основе возможно усовершенствование параметризации пространственно-распределенных гидрологических моделей, особенно в слабоизученных регионах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №17-05-0217) и программы ФАНО «Дальний Восток» (проект №18-5-089)

Список литературы

Гарцман Б.И. Анализ геоморфологических условий формирования первичных водотоков на основе цифровых моделей рельефа // География и природные ресурсы. - 2013. - №1. С. 136-147.

Гарцман Б.И. и др. Порядковая классификация речных водоразделов на основе обработки цифровых моделей рельефы // География и природные ресурсы. - 2016. - №4. С. 164-173.

Гарцман Б.И., Шекман Е.А. Возможности моделирования речной сети на основе ГИС-инструментария и цифровой модели рельефа // Метеорология и гидрология. - 2016. - №1. - С. 86-98.

Короткий А.М., Коробов В.В. Перестройка речных систем и устойчивость водосборных бассейнов Сихотэ-Алиня // Изменения климата, природные катастрофы и становление ландшафтов юга ДВ. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 55-68.

Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та. 1975. 232 с.

Cayley A. On contour and slope lines // Edinburg and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1859, vol. 18, №4, pp. 264-268.

Modeling of river basin structure based on GIS

***Shekman E.A.*[1], *Gartsman B.I.*[2]**

[1]*Pacific Institute of Geography FEB RAS, Владивосток*

[2] *Water Problems Institute RAS, Москва*

shekman.e@gmail.com

Abstract: Digital elevation models (DEM) are typically a three-dimensional spatial model that serves as the basis for solving a wide range of fundamental and applied problems. DEM, in combination with modern computing capabilities and a wide range of ready-made software products for information processing, provides extensive opportunities for modeling formation and functioning of river network for selected area. The construction of a correct model for a large drainage basin is a complex methodological task.

Most of the existing methods based on the use of various forms of criterial indices. This article discusses about using the Complex Energy Index (CEI) to parametrize the conditions for the formation of the river network and the development on its basis of methods of structural and hydrological analysis of river systems and the spatial organization of the main structural elements of the river basin, river network and watershed network, in framework of a single ordinal concept. The use of CEI was tested in a wide range of physical and geographical conditions for modeling the river network.

The obtained model of the river network was used as a basis for constructing a network of watersheds. For their ordinal classification, as an alternative to existing approaches, the principle of ordering was formulated based on drainage paths from the watershed to the closing line along the links of the river network of different orders. Guided by this principle, a watershed scheme for a large river basin was created, illustrating the main features of the spatial organization of small river basins, the geological structure and the history of terrain evolution.

The use of a single ordinal concept makes it possible to improve the typification of elemental watersheds depending on the order of the watershed.

Keywords: River network, catchment morphology, stream orders, order classification of watersheds, structural and hydrographic analysis, digital elevation model.

Coupled hydrometeorological modeling of rain-on-snow flood events in the Northern Ural region using the WRF and Hydrograph models

Shikhov A.[1], Makarieva O.[2,3,4,5] Nesterova N.[4,5], Ostashov A.[4], Sviyazov E.[1]
[1]Perm State University, Perm
[2]Gidrotehproekt Ltd, St. Petersburg
[3]St. Petersburg State University, St. Petersburg
[4]Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk
[5]State Hydrological Institute, St. Petersburg
and3131@inbox.ru

Abstract: The hydrological model Hydrograph driven by the 39-h numerical forecasts of Weather Research and Forecasting (WRF) mesoscale atmospheric model was applied to simulate rain-on-snow floods events of 2013 at two large-scale rivers basins in the Northern Ural characterized by mountainous terrain and sparse ground-based observations. The Hydrograph model was parametrized and verified based on historical data from weather station for the period 1983-2015 with Nash-Sutcliffe criteria reaching 0.66 and 0.77 for the Yayva and Vishera rivers. Average monthly discharge in November 2013 at both rivers exceeded average long-term value by more than three times and total runoff in October and November 2013 reached from 22 to 28% of annual value. The analysis of weather station and WRF forecasted data has revealed that the amount of precipitation produced by WRF was underestimated by 23-30%, air temperature is in average lower by 4.0 °C in comparison with ground-based data. According to WRF most of the precipitation has accumulated in snow cover and retained for the entire experiment period, therefore no flood event was formed. According to the weather station data, more than 60% of the precipitation during the period October-November 2013 fell as rain, which caused intensive melting of snow cover formed in early October and formation of significant flood event on the Vishera and Yayva rivers. Based on the results obtained, it can be concluded that WRF model is not suitable for application for flood forecasting of rain-on-snow events in mountainous regions of the Northern Urals, which is caused both by an underestimation of both the amount of precipitation and air temperature.

Keywords: WRF, Hydrograph model, Northern Ural, rain-on snow flood events

Introduction

Snowmelt runoff is more than 60% of the annual streamflow in most of Northern Eurasia, including Northern Ural region. Northern Ural is characterized by high snow accumulation, especially its western slopes which are exposed to moist westerly winds. Snow accumulation period continues from October to April, and maximum snow water equivalent reaches 300-500 mm. Snowmelt floods on the Northern Ural's rivers are regularly observed in May or June (for example, in 1993, 2004, 2014, 2017 years). However, in recent years, with increasing of temperature and precipitation amount, the rain-on-snow (RoS) floods can occur in autumn, during the snow cover formation period. Such anomalous floods happened in 2006 and 2013, and we can assume that they will occur more often in the future (for example, Freudiger et al., 2014).

A major challenge of snowmelt runoff forecasting in the Northern Ural is the lack of precipitation gauges and snow survey data. Therefore, the estimation of precipitation and SWE spatial distribution raises the uncertainty in the forecasts. Coupling mesoscale atmospheric models with hydrological models can be used to improve the flood forecast reliability in the

basins with mountainous terrain and the lack of ground-based observations. Additionally, the forecast period can thus be extended when compared with traditional methods based on precipitation gauges data (Zhao et al., 2009).

The aim of this study is to assess the benefits of a high-resolution atmospheric forcing to the distributed hydrological model Hydrograph (Vinogradov et al., 2011) to simulate RoS flood events in the Northern Ural rivers basins. The studied basins of the Vishera and Yayva rivers (with basin area 31083 and 5400 km2 respectively) are characterized by mountainous terrain with elevation ranges from 100 to 1469 m, and sparse ground-based observations (three weather station within both basins and four hydrological gauges) (Fig. 1). More than 85% of studied basins are covered by forests.

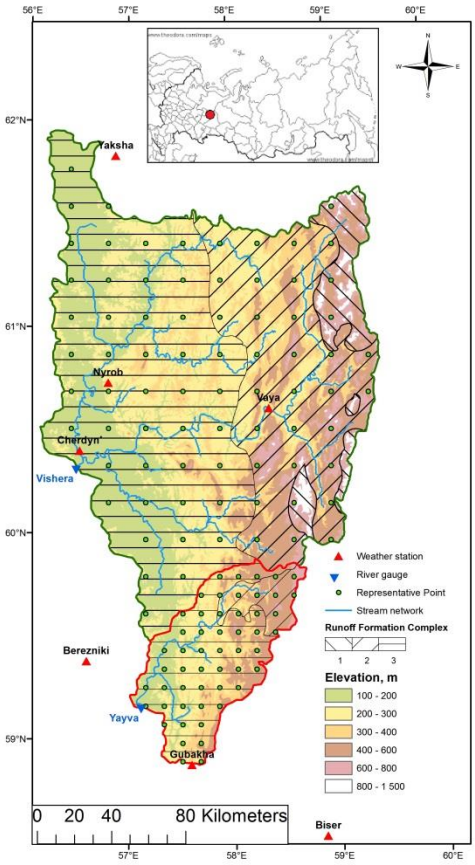


Figure 1: Scheme of the Vishera and Yayva rivers basins

Data and methods

We applied the hydrological model Hydrograph (Vinogradov et al., 2011) driven by the 39-h numerical forecasts of Weather Research and Forecasting (WRF) mesoscale atmospheric model (Skamarock et al., 2008) to simulate RoS floods events.

Initially, the hydrological model's parameters were assessed and verified based on the historical meteorological data from ground weather stations for the period from 1966 to 2015 on daily basis. After that we used 3-h WRF forecast to simulate significant RoS flood event which occurred in the autumn 2013 at both studied rivers.

Hydrograph model

The Hydrograph is the distributed process-based hydrological model (Vinogradov et al., 2011). It describes all components of the land hydrological cycle, including precipitation and its interception; snow accumulation and melting; evaporation from snow, soil, and vegetation cover; surface flow and infiltration; soil water dynamics and flow; heat dynamics and phase change in soil layers; underground flow formation, slope and channel flow transformation. The model

requires the following atmospheric variables as its input: air temperature and humidity, the amount of precipitation. The outputs are flow hydrographs, water balance elements and state variables of soil of basin components. The model can be run at the time step from minutes and hours to daily interval.

A temperature threshold (usually +2°C) is used to divide input precipitation into liquid and solid components. The model accounts for interception of liquid precipitation based on an exponential function of maximum interception storage by the vegetation. Snow interception is ignored in the Hydrograph model. Instead, direct snow sublimation losses are considered in the snow routine. The model includes a routine for snow accumulation, redistribution and melting. A normal distribution function is used to approximate the spatial heterogeneity of snow cover. In the Hydrograph model, the degree-day method is used to calculate the snowmelt rate, but with the account for solar radiation (Semenova et al., 2013).

The Hydrograph model was successfully applied to simulate the river runoff formation in cold regions with a lack of ground-based observations data (Vinogradov et al., 2011; Semenova et al., 2013) but previously was not driven by high-resolution meteorological forecasts.

Numerical Weather Prediction (NWP) data

The WRF model with Advanced Research WRF (ARW) dynamical core was run at the computing cluster of the Perm State University. NWP data for the period of 15–39 h from the forecast start were used to drive the Hydrograph model, to provide matching with the timing of precipitation measurements at the weather stations. The detailed information about WRF model settings is presented in Table 1.

Table 1. Summary of the WRF model settings

Model characteristic	Setting
Horizontal grid resolution	10 km
Grid points	200×200 grid points
Number of vertical layers (up to 5000 mb)	38
Topography	U.S. Geological Survey (USGS) DEM (30s)
Simulation length	39 h, starting at 00 UTC
Output data time step	3 h
Dynamics	Non-hydrostatic
Model core	ARW, non-hydrostatic
Integration time step	48 or 18 seconds
Initial and lateral boundary	0,5° GFS reanalysis data
Microphysics schemes	Thompson scheme
Planetary Boundary Layer (PBL) scheme	Yonsei University scheme
Land surface physics scheme	Noah Land Surface Model
Long and short wave radiation scheme	Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)
Surface layer scheme	Monin-Obukhov with Carslon-Boland viscous sub-layer and standard similarity functions
Convection	KF scheme

Hydrograph model parameters assessment and verification

We used following surface characteristics data to setup the Hydrograph model and assess its parameters for studied watersheds: digital elevation model GMTED2010 (U.S. Geological Survey); soil map of 1:700 000 scale, with additional information about bedrock types; vegetation map of 1:1 000 000 scale; the catalog of agro-hydrological characteristics of soil types (Reference book…, 1972) and water balance observations at reference weather stations of the region (Observational data…, 1970-1983).

Three RFC have been identified: 1) mountain tundra, 2-3) pine and mixed-deciduous forest on heavy and medium loamy soils. We used square calculation grids of 20 and 10 km size for the Vishera and Yayva rivers basins, respectively (Fig. 1). To account for orographic effects the precipitation and air temperature lapse rate were estimated and applied within the procedure of interpolation of meteorological data from weather stations to the calculation grids. Their values were assessed as +40 mm and –0.6°C per 100 m of elevation.

Continuous simulations of flow on the daily basis were conducted for the periods of 1983 to 2015 for both studied basins. Five and four weather stations were used for the Vishera and Yayva rivers, from which three and none of them were located within the basin areas of those rivers (Fig. 1). The results of runoff modeling are presented at Fig. 2 and in Table 2 which includes average annual values of water balance (mm) and Nash-Sutcliffe (NS) efficiency criteria of daily flow for the period 1983-2015.

Table 2. Runoff modelling results

River	S	N	Fo	Fs	P	E	NS
Vishera	31059	5 (3)	544	579	1013	425	0.77
Yayva	5400	4 (0)	595	635	1103	451	0.66

where S – basin area, km^2; N – number of used weather stations (in brackets number of stations located within the basin is shown); Fo and Fs – observed and simulated average annual flow, mm; P and E – estimated precipitation and evapotranspiration, mm; NS – Nash-Sutcliffe efficiency criteria of daily flow.

NS values reached 0.77 and 0.66 for the Vishera and Yayva rivers respectively. Simulated values of annual flow are slightly (6-7%) higher than observed ones for both rivers. Annual precipitation reaches up to 1100 mm, runoff coefficient is about 58%. The results of simulations can be considered satisfactory.

RoS flood event simulation experiments

The numerical experiment continued from the 1st of October to the 30th of November 2013. During these two months, the WRF-simulated precipitation amount in the mountainous part of studied basins reached 350–400 mm. The nearest weather station Cherdyn' measured 270 mm of precipitation, which is 180% of the climatic norm. Besides, the mean air temperature in November 2013 reached 0…–2° C and exceeded the climatic norm by 6-7 °C.

First snow cover was formed in the studied basins on the 13 October 2013. Next days, heavy snowfalls occurred on the 16 and 24-26 October (Fig. 3). The WRF-simulated snow water equivalent reached up 70-100 mm in the mountainous part of the basins. At the end of October, the St. Jude cyclone (Tõnisson et al., 2017) moved to the Northern Ural accompanied by strong winds, warming up to +6…+8° C and heavy rainfalls (up to 40 mm, simulated by the WRF model). As a result, significant RoS flood was formed on the Vishera and Yayva rivers. On the Vishera river, two flood peaks with maximum values of 1800 and 2100 m3s-1 (about 5-6 mm) were observed on the 3rd and 15th of November 2013. The maximum daily discharge of the Yayva river on the 1st of November exceeded the average maximum of spring flood and reached 727 m^3s^{-1} (or 11.6 mm), and the water level rose by 3.5 m. Average monthly discharge in November 2013 at both rivers reached exceeded average long-term value by more than three times. Total runoff in October and November 2013 reached 22 and 28% from annual value at the Vishera and Yayva rivers respectively.

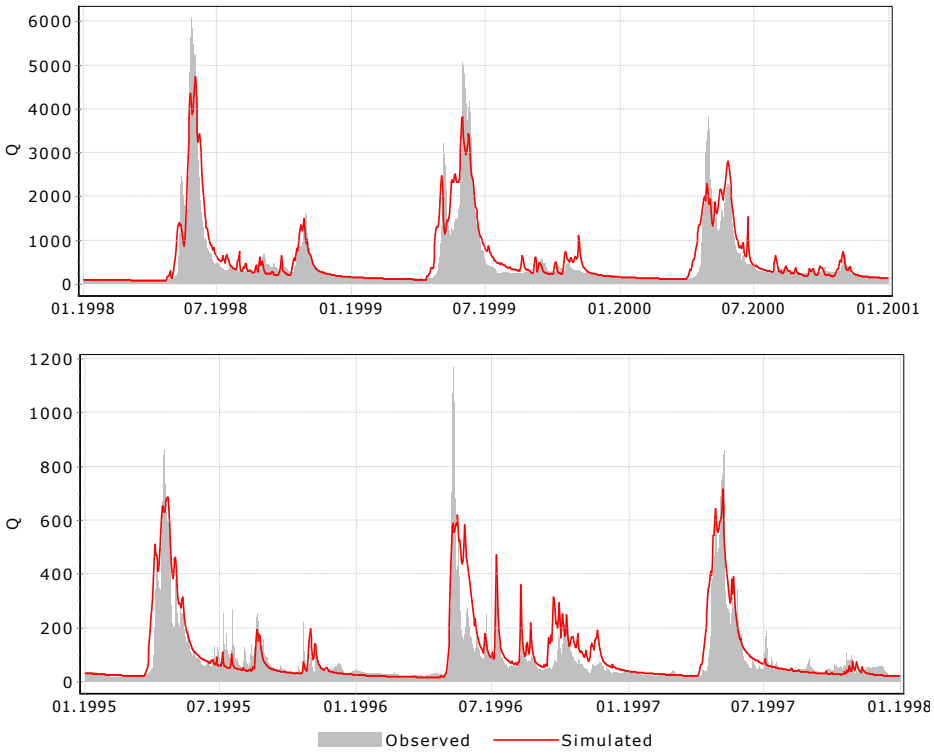


Figure 2: Observed and simulated hydrographs (m3s-1) for the Vishera (a) and Yayva (b) rivers

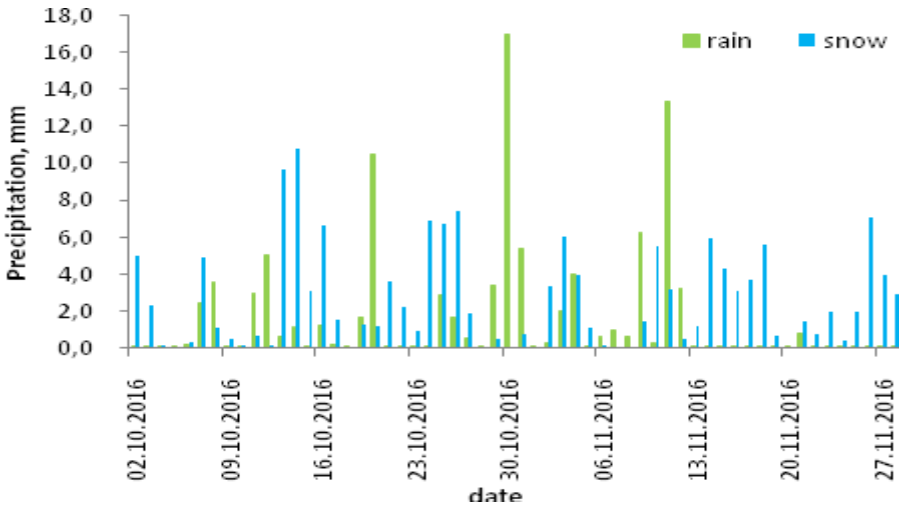


Figure 3: WRF-simulated daily average precipitation amount for the Vishera basin, 1 Oct – 30 Nov 2013

The total precipitation during RoS flood event according to the WRF model and from data obtained by interpolating meteorological information from weather stations was 252 and 328 mm and 284 and 352 mm for the Vishera and Yaiva rivers, respectively. Thus, according to the WRF model, the amount of precipitation is understated by 23-30% compared to the ground-based data. The WRF-simulated air temperature is, on average, underestimated by 4.3 and 3.7 °C at the same basins (Fig. 4).

According to WRF data due to negative air temperature, most of the precipitation has accumulated in snow cover and retained for the entire experiment period (Fig. 5). As a result, no

flood event was formed. According to the weather station data, more than 60% of the precipitation during the period October-November 2013 fell as rain, which caused intensive melting of snow cover formed in early October and formation of significant flood event on the Vishera and Yayva rivers (Fig. 5).

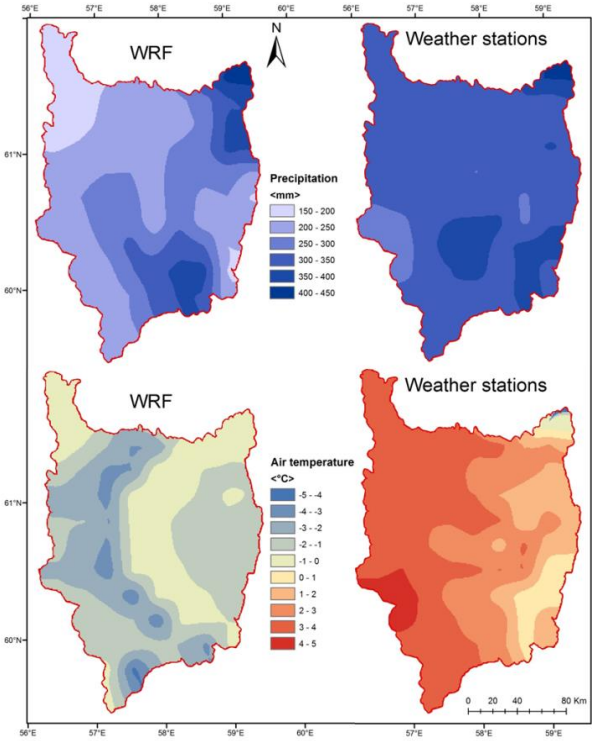


Figure 4: Mean air temperature and total precipitation amount simulated by the WRF model and interpolated from weather stations for the Vishera basin, 1 Oct – 30 Nov 2013

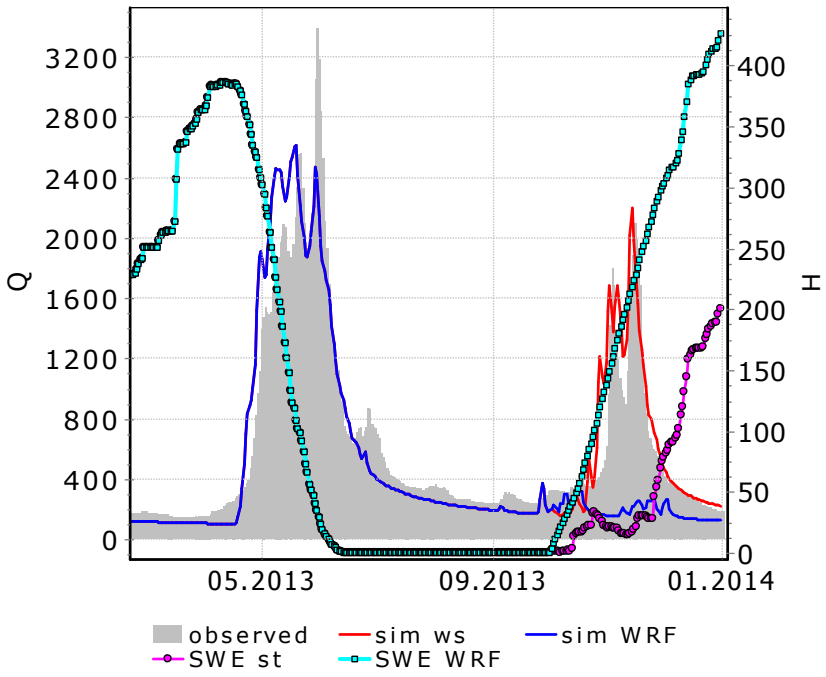


Figure 5: The results of RoS event simulation using weather station and WRF data for the Vishera river basin

Results and discussion

Based on the obtained results, it can be concluded that WRF model is not suitable for application for flood forecasting of RoS events in mountainous regions of the Northern Urals, which is caused by an underestimation of both the amount of precipitation and air temperature.

The recent growth in the spatial resolution of global atmospheric models to 10-20 km allows for the use of their output data for flow calculations at large catchments. Their main advantage is the possibility of open access to data on any region of the planet. However, preliminary analysis of the data of meteorological models and their comparison with the results of ground-based observations is required.

The study was funded by Russian Foundation for Basic Research, project #17-05-01001.

References

Freudiger D., Kohn I., Stahl K., and M. Weiler Large-scale analysis of changing frequencies of rain-on-snow events with flood-generation potential. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 2695-2709, https://doi.org/10.5194/hess-18-2695-2014, 2014

Semenova O., Lebedeva L., Vinogradov Yu. (2013) Simulation of subsurface heat and water dynamics, and runoff generation in mountainous permafrost conditions, in the Upper Kolyma River basin, Russia. Hydrogeology Journal, 21 (1), 107-119. doi:10.1007/s10040-012-0936-1

Skamarock, W, Klemp J, Dudhia J, Gill D, Barker D. 2008. A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech., Note NCAR/TN-475+STR.

Vinogradov, Y.B., Semenova, O.M. and Vinogradova T.A.: An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system, Hydrol. Processes, 25, 1055–1073. doi:10.1002/hyp.7901

Tõnisson, H., Suursaar, U., Alari, V., Muru, M., Rivis, R., Kont, A., Viitak, M. Measurement and model simulations of hydrodynamic parameters, observations of coastal changes and experiments with indicator sediments to analyze the impact of storm St. Jude in October, 2013, Journal of Coastal Research, 1(75), 1257-1261. doi: 10.2112/SI75-252.1

Zhao, Q., Liu, Z., Ye, B., Qin, Y., Wei, Z. and Fang S.: A snowmelt runoff forecasting model coupling WRF and DHSVM, Hydrology and Earth Systems sciences. 13, 925–940, doi:10.5194/hess-13-1897-2009.

Reference book of agro-hydrological properties of the Ural soils. Sverdlovsk, 1972, 272 p.

Observational data of reference stations of the complex water balance and agrometeorological network, soil and snow-evaporation stations. Issue 1, 4. Leningrad, 1970-1983.

Hourly runoff predictions using hydrologic model and recurrent neural net

Ayzel G.V.
Institute of Earth and Environmental Science, University of Potsdam, Potsdam, Germany
ayzel@uni-potsdam.de

Abstract: In the presented study, I investigate the ability of two hydrologic model classes — classic conceptual and modern deep learning — to predict runoff at hourly timescale resolution on a small catchment in France. I perform an essential stage of any hydrologic modeling study — robustness validation — in cross-validation manner on eight folds and found model parameters consistency in time. For finding the optimal structure of a recurrent neural network, I brute-force over one thousand of model configurations on a GPU server. Results show approximation ability saturation after a thirty-six-day length of input sequences. Both model classes show comparable efficiency what reveals under-constraint nature of runoff formation processes which limits our ability for better modeling.

Keywords: Hydrologic modeling, neural networks, optimization.

Runoff predictions with hourly time step are not of common sense for modern hydrology. Even operational forecasting systems have a daily calculation time step an average. These could be explained by the rare availability of hourly hydrometeorological observations (runoff, precipitation, evaporation) and by community tradition (which dictates by societal and water management needs) to devote the main effort to developing runoff formation models with a daily time step.

In this study, I have benchmarked modified GR4H hydrological model (the only one freely available model for hourly runoff predictions) on a small catchment located in France. Meteorological forcing for GR4H model includes hourly data of precipitation and potential evapotranspiration was provided by Irstea Catchment Hydrology group (France). Top score of the Nash-Sutcliffe efficiency reached 0.75 for model run with optimal parameters automatically calibrated using differential evolution algorithm for a whole period of runoff observations. Obtained result of eight-folded cross-validation (Thirel et al., 2015) shows (fig. 1) the good ability of such simple conceptual model follow (or mimicry) complex runoff formation relationships on both small temporal and spatial scales.

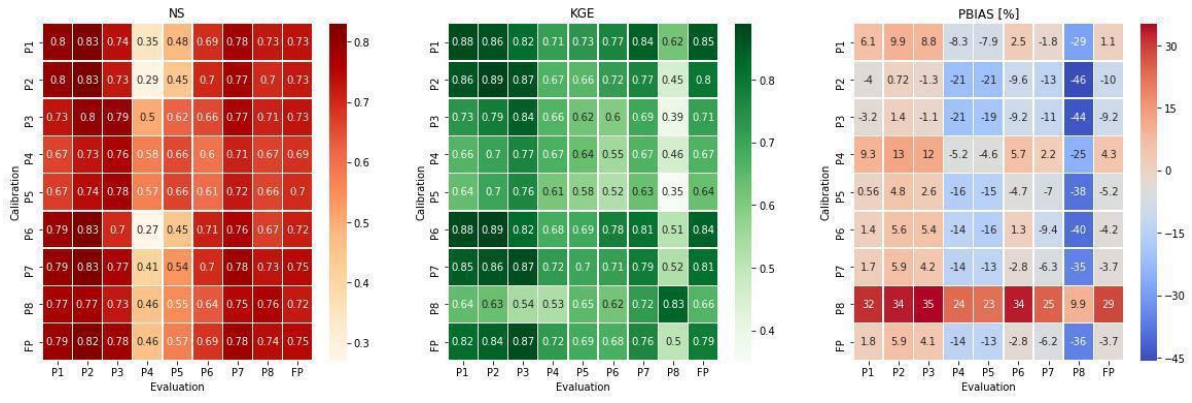


Fig. 1. Efficiency metrics for GR4H model results

Flourishing of new computational methods in mathematics and computer science provide us an excellent opportunity for interdisciplinary research aims at investigating the power and

robustness of deep architectures of modern artificial neural networks for solving hydrological questions. In the huge zoo of modern deep learning models, I have selected recurrent neural networks (RNN) for solving hourly runoff predictions problem because of their naïve nature of holding modeled process memory. In a presented study, I have posted two general questions: (1) Is it possible to reach the performance of hydrological model using RNN with the same forcing data as input? (2) What will be a performance of RNN if we use only precipitation data as input? The spoiler answers are: (1) yes, (2) 0.75 (the Nash-Sutcliffe efficiency score).

Here I do not present any valuable results for hydrology as a scientific discipline — there is no new information about hydrological processes and its features. Presented study is an attempt not to miss new opportunities in hydrology as an engineering discipline, an attempt to get "right numbers for right reasons" — for predicting hazardous flash floods with limited information, but with un(limited) performance.

References

Thirel G., Andréassian V., Perrin C., Audouy J.-N., Berthet L., Edwards P., Folton N., Furusho C., Kuentz A., Lerat J., Lindström G., Martin E., Mathevet T., Merz R., Parajka J., Ruelland D., Vaze J. Hydrology under change: an evaluation protocol to investigate how hydrological models deal with changing catchments // Hydrological Sciences Journal. V. 60, No. 7-8: 1184-1199.

Runoff simulation in an arid catchment by KINEROS2 hydrological model through parameter allocation approach

Ghonchepour D. **, *Bahremand A.***
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Diba_ghonchepour@yahoo.com

Abstract: The parameter allocation approach was suggested for avoiding or limiting the calibration phase of hydrological modeling, but it has not been practiced sufficiently and therefore more emphasis is needed through practical applications. The aim of this research is to simulate runoff in the Dehgin catchment located in the Hormozgan province of Iran by the use of this approach. As the catchment is one of the representative catchments of arid and semi-arid regions of Iran, the KINEROS2 model was selected to simulate the runoff hydrograph in the Dehgin catchment. As a representative catchment, it has good and valuable data and measurement facilities that makes it easier to specify the parameters of the model. Therefore, parameter allocation or logic based specification of parameters was practiced in this research. Based on the results, the model performance to simulate the hydrographs with a higher volume and peak discharge was very good, while it could not simulate the hydrographs with low volume and peak discharge. A limited calibration was done to improve the model performance in simulating the hydrographs with low volume and peak discharge. Although the calibration improved the model performance for the bad results (i.e. small storms) we lost some of the good results, and also the reasonable values of hydraulic conductivity and net capillary drive as the first and the second sensitive parameters were replaced with irrational values (out of the reasonable range). It can be concluded that spending more time for more understanding the catchment and the model parameters will provide acceptable results and the need for calibration reduces considerably, even using the KINEROS2 model which is far from being sufficiently physics based. Therefore, we can go one step further in the hydrological understanding and process modeling without calibration. It should be noted that the parameter calibration is unavoidable while working with conceptual models, but for the models with some degree of physically based structure, it can be avoided, and the parameters can be allocated with understanding of catchment and model behavior.

Keywords: KINEROS2, Dehgin, Parameter Allocation, Calibration, Process Based Models.

Introduction

Conceptual models of the environmental systems, such as rainfall-runoff models, generally rely on calibration for getting values of the model parameters (Gharari et al, 2013; Beven, 2011). Calibration as the forth step in hydrological modelling is applied to gain the best match between simulation results of the model and the observed data (Beven, 2011). Equifinality (Beven, 1993) and use of any value for the parameters even irrational values by some of the researchers to match the observed and simulated hydrographs are some of the problems related to the calibration, therefor some hydrologists (Bergstorm, 2006; Gharari et al, 2013; Bahremand, 2016) emphasize on limiting the calibration. For the models with some degree of physically based structure, the calibration can be avoided, and the parameters can be allocated with understanding of catchment and model behavior. Bahremand (2016) has discussed the logic based specification of model parameters to limit the calibration, and as a mater of emphasize, has called the approach as “parameter allocation”.

With having some practice, gaining some information about the way used to represent the hydrological processes in the model, and knowing the relation between the parameters and observable or conceptual characteristics of the catchment, the hydrologist can determine values of the parameters, rationally (Bahremad, 2016). The proposed approach consists of seven steps

(for the details of the seven steps refer to Bahremad, 2016). Considerable efforts have been done for simulation of the hydrologic components without calibration. The work of the St. Petersburg modeling team on a deterministic distributed process-based model of runoff formation processes named the “hydrograph model” was closely in line with the parameter allocation approach. They used the observable physical properties of the study area as the parameters of the model to provide a fairly robust parameterization which needs very little tuning (Semenova et al, 2013; Semenova et al, 2015). "a priori parameter allocation" used by Antonetti et al (2017), "prior constraints" used by Hrachowitz et al (2014), "expert knowledge" used by Antonetti and Zappa (2017), Antonetti et al (2016), Gharari et al (2014), and "parameter regionalization" used by Viviroli et al (2009) are the other similar efforts to determine the parameters of the model without calibration.

In this study, with the availability of 10 rainfall events with different durations and the corresponding runoff data for the Dehgin catchment with a time step of 10 minute, having the measurements of runoff by a Santa Rita flume located in the outlet of the catchment, and having the initial soil moisture data in 10-minute time steps, we decided to try for a parameter allocation in the Dehgin catchment based on the parameter allocation approach.

Methods

Study Area

Representative and paired catchment of the Dehgin located in the Hormozgan province is considered as a hydrologic unit of Persian Gulf (Kuhpayeh and Babaei, 2015). The Dehgin catchment with an area more than 3.5 km^2 comprises 0.04% of area of the Esteghlal Dam watershed basin and is located between 57˚ 12́ 29″ to 57˚ 11́ 25″ of eastern longitude and 27˚ 44́ 21˚ to 27˚ 46́ 06″ of northern latitude (Watershed Management and Natural Resources Organization of Hormozgan, 2012). This catchment is divided into three sub-catchments of representative, sample, and control. The control sub-catchment of Dehgin was selected to do this research due to the impact of watershed management measures on the amount of runoff in the sample sub-catchment and also lack of runoff data in outlet of the representative sub-catchment. Area of the control sub-catchment of Dehgin is 101.713 ha. For simplicity, we will use "Dehgin" instead of " control sub-catchment of Dehgin".

Table 1. Summary of the methods used to allocate the channel parameters in Dehgin catchment

Parameter	Value	Description
Width	Different for each segment of the channel	Adjusting the default formula of KINEROS2 model according to the measured data
Manning’s roughness (n)	0.06	Field observations/ Cowan procedure
Armoring	0.00	Field observations
hydraulic conductivity (Ks)	61 mm/hr	KINEROS2 model manual and WetSpa model manual
net capillary drive (G)	100 mm	KINEROS2 model manual
coefficient of variation for KS (CV)	0.1	Field observations/ expert knowledge
pore size distribution index (Dist)	0.545	The WetSpa model manual
porosity (por)	0.437 m^3/m^3	The WetSpa model manual
Value of volumetric rock fraction (Rock)	0.00	Field observations
fractional clay content (Pct_clay)	0.05	measured data
fractional silt content (Pct_silt)	0.05	measured data
fractional sand content (Pct_sand)	0.9	measured data

KINEROS2 Model

The Kinematic rainfall and runoff model of KINEROS2, a second generation version of KINEROS, is a physically-based, event-oriented, and distributed rainfall-runoff model which is used for modeling events in arid and semi-arid watersheds. Hydrologic processes of interception, infiltration, surface runoff, and erosion from small agricultural, rangeland and urban watersheds are described in KINEROS2 model (Al-Qurashi et al, 2008; Miller et al, 2007, Smith et al, 1995; http://www.tucso.ars.ag.gov/kineros/). Runoff generation mechanism used in KINEROS2 model is Hortonian mechanism and the model does not simulate the interflow, subsurface hillslope response, or groundwater flow (Smith et al, 1999). The model is executed through the Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) tool which is added as an extension to the ArcGIS software.

Model Application

Input data used to execute the KINEROS2 model in the Dehgin consist of rainfall and corresponding runoff data with a time step of 10 minutes as well as the Digital Elevation Model (DEM), and land use maps provided by the Watershed Management and Natural Resources Organization of Hormozgan and FAO soil map downloaded from the www.fao.org website. After providing the required data, runoff simulation steps were followed in AGWA3.6.1 tool. the third step is determining the parameters for both channels and planes. As the aim of this research is to try for parameter allocation, the methods used to allocate each parameter is presented in tables 2 and 3. Using the allocated parameters, the model could not simulate the hydrographs with the discharges about or less than 1 m^3/s, therefore, a limited calibration was done such a way that infiltration be decreased in order to increase the runoff.

Table2. Summary of the methods used to allocate the plane parameters in Dehgin catchment

Plane Parameter	Value	Description
interception	0.31	the WetSpa model manual
percent cover	15	Field observations/ land use type
Manning's roughness (n)	0.05	Based on the land use type/ / literature value/ expert knowledge
hydraulic conductivity (K_s)	3.7 mm/hr	Literature value/ KINEROS2 model manual
net capillary drive (G)	130.97	KINEROS2 model manual
coefficient of variation for KS (CV)	0.3	Field observations/ expert knowledge
pore size distribution index (Dist)	3.86	The WetSpa model manual
Porosity (por)	0.437 m^3/m^3	the WetSpa model manual
S_{max}	0.92	The KINEROS2 model manual
Value of volumetric rock fraction (Rock)	0.07	Field observations
fractional clay content (Pct_clay)	0.04	measured data
fractional silt content (Pct_silt)	0.4	measured data
fractional sand content (Pct_sand)	0.56	measured data

Results and discussion

Figure (1) indicates the results of runoff simulation using the KINEROS2 model and through parameter allocation approach and table 3 show the values of Nash-Sutcliff, and Kling-Gupta efficiency evaluation criteria for parameter allocation and calibration, respectively.

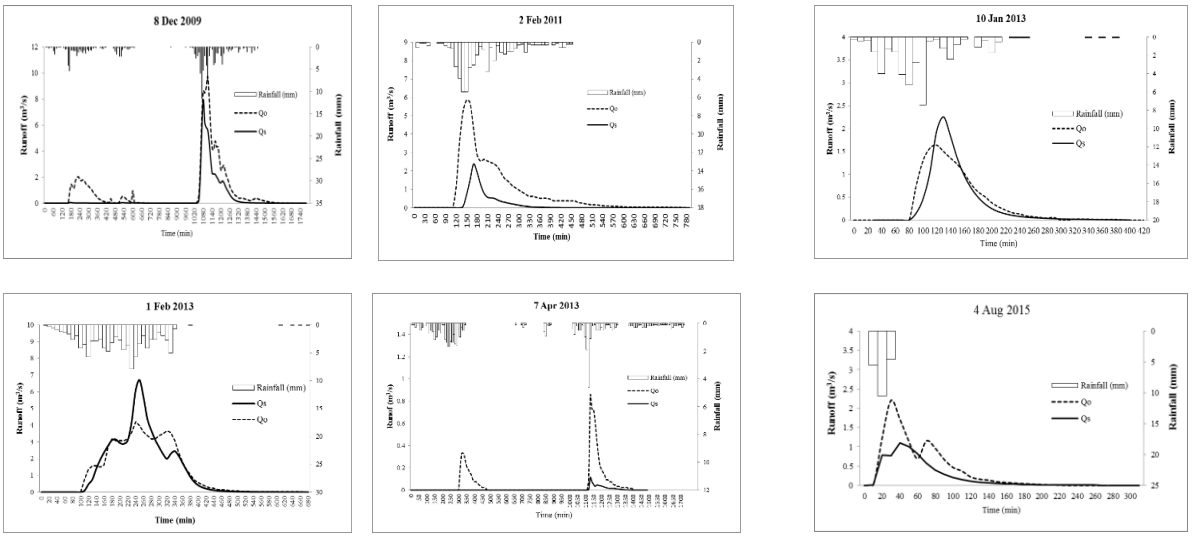


Figure 1. Results of runoff simulation in the Dehgin catchment using the KINEROS2 model through parameter allocation approach

Visual comparison of the simulated hydrographs with observed ones (figure 1) indicated that the results of the simulation through parameter allocation approach are acceptable for 6 events represented in the figure 1. Totally, we can consider three cases of precipitation in this region: (1) continuous precipitation with a cumulative rainfall between 20.4 to 98.7 mm; (2) discontinuous precipitation with a cumulative rainfall between 45.8 to 121.2 mm; (3) discontinuous precipitation with a cumulative rainfall between 26.6 to 44.3 mm. In the first case, the performance of the model to simulate the runoff through parameter allocation is acceptable. So that, the best performance of the model to simulate the runoff has been for the event dated 1 Feb 2013 with the values of 0.78, and 0.98 for Nash-Sutcliffe, and Kling-Gupta, respectively. The event dated 10 Jan 2013 is located in the next order regarding the values of mentioned efficiency evaluation criteria. In the second case, discontinuous precipitation leads to the multi-part hydrographs that the peak discharge depends on the value of the precipitation. Based on the observed results, the performance of the KINEROS2 model to simulate the hydrographs with low discharge is weak. Therefore, the performance of the model to simulate the multi-part hydrographs with low and high discharges in different parts is decreased. The events dated 8 Dec 2009 and 7 Apr 2013 which have the hydrographs with two parts and the model has not been successful to simulate the first parts of the hydrographs related to these events. In the third case, discontinuous and low rainfall occurs in a long duration and this creates an opportunity for the surface water to infiltrate into the soil and therefore the amount of runoff generated from such rainfall is low. The value of flow peak related to the events of 4 Feb 2007, 20 Feb 2007, 31 Jan 2011, and 11 Mar 2015 is 0.964, 1.026, 1.64, 0.9 m^3/s, respectively. Performance of the KINEROS2 model to simulate the runoff generated form these rainfall events was not acceptable. Decreasing the value of soil hydraulic conductivity in planes leads to decreasing the infiltration and increasing the runoff. Hence, the calibration was done in a way that runoff be generated and observed in the four last mentioned events. although the former bad results were improved after calibration, we lost some good results. It should be noted that we had to change the values of soil hydraulic conductivity in planes and channels and also net capillary drive to the values out of the defined range for the soil texture of the region.

Table 3. The value of efficiency evaluation criteria of the KINEROS2 model executed using parameter allocation and after Calibration

The value of efficiency evaluation criteria related to parameter allocation					
Event	Nash-Sutcliff	Kling-Gupta	**Event**	Nash-Sutcliff	Kling-Gupta
8 Dec 2009	0.76	0.82	**1 Feb 2013**	0.78	0.98
2 Feb 2011	0.23	0.6	**7 Apr 2013**	0.011	0.36
10 Jan 2013	0.75	0.89	**4 Aug 2015**	0.57	0.61
The value of efficiency evaluation criteria related to calibration					
4 Feb 2007	0.39	0.73	**10 Jan 2013**	-2.5	0.71
20 Feb 2007	0.46	0.8	**1 Feb 2013**	0.29	0.83
8 Dec 2009	0.76	0.97	**7 Apr 2013**	0.78	0.98
31 Jan 2011	-0.6	0.17	**11 Mar 2015**	0.19	0.68
2 Feb 2011	0.54	0.85	**4 Aug 2015**	-0.54	0.79

Conclusions

This research was done to simulate the runoff in the the Dehgin Catchment using KINEROS2 model and through parameter allocation approach. Various resources consist of the field observations and measurements, appropriate relations and formulas, expert knowledge, the KINEROS2 model manual, the WetSpa model manual, and literature review were used to decide about the value of the model parameters. Then the model was executed with the determined parameters. Results of the simulation of 6 storm events were acceptable and the value of Nash-Sutcliff criteria was from 0.11 for the event dated 10 January 2013 to 0.78 for the event dated 1 February 2013. trying to determine and really allocate the parameters of the model limited us to a limited calibration. Further calibration would be led to the irrational values of the parameters, so that the limited calibration led to the values for hydraulic conductivity and net capillary drive parameters out of the defined range. by having a good effort for parameter allocation, it is better to accept the results without calibration instead of trying to improve the results through an irrational calibration. Spending more time for better understanding of the study regions in the hydrological modeling will lead to better results of simulation and as a result, a more limited calibration or non-calibration which is the aim and expectation of future hydrological modeling.

References

Al-Qurashi, A., Macintyre, N., Wheater, H. Rainfall-Runoff Modeling using KINEROS Model. Geophysical Research Abstracts. 9. 2007.

Antonetti, M., Buss, R., Scherrer, S., Margreth, M., & Zappa, M. Mapping dominant runoff processes: an evaluation of different approaches using similarity measures and synthetic runoff simulations. Hydrology & Earth System Sciences Discussions. 20, 7, 2016: 2922-2945.

Antonetti, M., Scherrer, S., Kienzler, P. M., Margreth, M., & Zappa, M. Process-based Hydrological Modelling: The Potential of a Bottom-Up Approach for Runoff Predictions in Ungauged Catchments. Hydrological Processes. 31, 16, 2016: 2902-2920.

Antonetti, M., Zappa, M. How Can Expert Knowledge Increase the Realism of Conceptual Hydrological Models? A Case Study in the Swiss Pre-Alps. Hydrology & Earth System Sciences Discussions, Hydrology & Earth System Sciences Discussions. 2017.

Bahremand, A. HESS Opinions: Advocating process modeling and de-emphasizing parameter estimation. Hydrology and Earth System Sciences. 20, 4, 2016: 1433-1445.

Bergstrom, S. Experience from applications of the HBV hydrological model from the perspective of prediction in ungauged basins. IAHS publication. 307, 2006: 97-107.

Beven, K. J. Rainfall-runoff modelling: the primer. John Wiley & Sons. 2011.

Beven, K. Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling. Advances in water resources. 16, 1, 1993: 41-51.

Gharari, S., Hrachowitz, M., Fenecia, F., Gao, H., Savenije, H. H. G. Using expert knowledge to increase realism in environmental system models can dramatically reduce the need for calibration. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 10, 2013: 14801-14855.

http://www.tucso.ars.ag.gov/kineros/

Kuhpayeh, N., Babaei, A. Watershed Management Station of Representative and Paired Catchment of Dehgin, Seven Years Data Analysis (2007-2013). 2015: 153.

Liu, Y. B., & De Smedt, F. WetSpa extension, a GIS-based hydrologic model for flood prediction and watershed management. Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 1, e108, 2004.

Miller, S.N., Semmens, D.J., Goodrich, D.C., Hernandez, M., Miller, R.C., Kepner, W.G., Guertin, D.P. The Automated Geospatial Watershed Assessment Tool. Environmental Modelling & Software. 22. 2007: 365-377.

Semenova, O. M., Lebedeva, L. S., Nesterova, N. V., & Vinogradova, T. A. Evaluation of short-term changes of hydrological response in mountainous basins of the Vitim Plateau (Russia) after forest fires based on data analysis and hydrological modelling. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 371, 2015: 157.

Semenova, O., Lebedeva, L., & Vinogradov, Y. Simulation of subsurface heat and water dynamics, and runoff generation in mountainous permafrost conditions, in the Upper Kolyma River basin, Russia. Hydrogeology Journal. 21. 1. 2013: 107-119.

Smith, R. E., Goodrich, D. C., Woolhiser, D. A., & Unkrich, C. L. KINEROS–a kinematic runoff and erosion model. Computer models of watershed hydrology. 20. 1995: 627-668.

Smith, R.E., Goodrich, D.C., Unkrich, C.L. Simulation of Selected Events on the Catsop Catchment by KINEROS2. A Report for the GCTE Conference on Catchment Scale Erosion Models. Catena. 37. 1999: 457-475.

Watershed Management and Natural Resources Organization. Base studies of Dehgin Catchment. 2012.

Evaluation of the KINEROS2 hydrological model efficiency to simulate runoff in a semi-arid watershed

Ghonchepour D., Kayhanpanah M.
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
m.kayhanpanah@gmail.com

Abstract: Understanding the runoff volume provides useful information for water management, designing the hydraulic structures, flood control, and decision making. Hydrological behaviors are predictable using the hydrological models. There are a lot of hydrological models for use in the watershed scale that have different characteristics and each of them is suitable for use in a specific region. Hydrological processes used for arid and semi-arid regions are modeled in a different way comparing with the humid regions. KINEROS2 is an event based physically rainfall-runoff model which is used to simulate the runoff in arid and semi-arid regions. Most of Iran is located in the arid and semi-arid regions of the world. Therefore, KINEROS2 model was used in this research to simulate the runoff in the Bar watershed located in the North-east of Iran. 4 storm events with a 1-hour time step dated 6 Feb 1995, 3 Apr 2002, 5 May 2002, 31 Mar 2012 and corresponding runoff data as well as Digital Elevation Model, land use, and FAO soil maps were used to simulate the runoff. Based on the values of Nash-Sutcliff and Kling-Gupta efficiency evaluation criteria the performance of the KINEROS2 to simulate the runoff in the Bar watershed is almost good. Considering the arid and semi-arid climatic condition of Iran, it is suggested that efficiency of the hydrological models suitable for use in the arid and semi-arid regions be explored in different regions of Iran. The results of such models will be helpful in water resources management.

Keywords: KINEROS2, Bar, Water Resources Management, Model Efficiency.

Introduction

Limitation of hydrological measurement techniques is the main reason of need to models for simulation and prediction of rainfall-runoff processes that can be helpful in decision making (Beven, 2011). Really, hydrological models are a basis for decision making about water resources that have important outcomes for the sectors of agriculture, land management, and water supply (Westerberg et al, 2011).

There are numerous hydrological models in the watershed scale varying from lumped to distributed models (Kalin and Hantush, 2003) based on the model parameters as a function of space and time (Devi et al, 2015). Recently, researchers have integrated GIS and hydrological models that this improve the applicability of hydrological models (He, 2003). Integration of the AGWA tool in the Geographic Information System (GIS) with watershed runoff and erosion models such as Kinematic Runoff and Erosion Model (KINEROS2) and Soil and Water Assessment Tool (SWAT) have made the parameterization so simpler (Levick, 2004).

KINEROS2 is an event- based physically rainfall-runoff model which has been extensively accepted for use in the arid and semi-arid regions (Daniel et al, 2011; Yatheendradas et al, 2008; Al-Qurashi et al, 2007). Due to the geographical and climatic conditions, a large part of Iran is located in both arid and semi-arid regions (Moradi Dashtpagerdi et al, 2015). KINEROS2 model has been used by Molaeifar (2014), Mirzaei et al (2013), and Nazarnejad et al (2013) in variour regions of Iran and all of them concluded the good performance of the KINEROS2 model in simulating runoff. As a suitable model for simulation of runoff in the arid and semi-arid regions, KINEROS2 hydrological model was used in this research to simulate the runoff in the Bar watershed with the aim of evaluating the model performance to simulate the runoff.

Methods

Study area

The Bar watershed in Neyshabour, Iran has an area of 11388 ha. The watershed has been located in the 36˚27´36˝ to 36˚36´32˝ of northern latitude and 58˚40´46˝ to 58˚49´31˝ of eastern longitude (Taei Semiromi et al, 2013). The lowest and highest elevation of the watershed are 1061.30 and 2870.75 m and the average slope of the area is 19 percent (Rahmati et al, 2018). The climate of the region is semi-arid and the average temperature is 5.4°C. The average rainfall of the region is 330.4 mm (Jafari et al, 2012).

Model introduction and application

KINEROS2 (KINematic Runoff and EROSion) originated at the USDA Agricultural Research Service (ARS) in the late 1960s (Goodrich et al, 2012) as a distributed event-based rainfall-runoff erosion model (Goodrich et al, 2011). In the KINEROS2 model, the watershed is approximated by a cascade of overland flow planes, channels and impoundments (Memarian et al, 2013; Goodrich et al, 2012). Overland flow planes can be split into multiple components with different slopes, roughness, soils, and so on (Memarian et al, 2013). This model describes the processes of interception, infiltration, surface runoff, and erosion and is based on Hortonian overland flow theory (Goodrich et al, 2005). The Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) tool (Goodrich et al, 2005) which is an extension for ArcGIS software is used to execute the KINEROS2 model.

To execute the KINEROS2 model in the Bar watershed, required data consist of 4 rainfall and corresponding runoff data as well as Digital Elevation Model, land use, and soil maps were prepared.

To prepare the Rainfall and runoff data, recorded data in two rain gauge stations of Marousak and Karkhane-Ghand and runoff data recorded in the hydrometric station of Bar-Ariye were used. Assessment process using AGWA tool have 5 main steps: 1. Identification of the outlet and delineation; 2. discretization; 3. parameterization; 4. providing the input files of rainfall and parameter; 5. model execution and visualization of the results (Goodrich et al, 2005). After delineation of the watershed in the stage 1, the watershed was divided to 28 planes and 11 channels in the second stage. KINEROS2 model was executed in the Bar watershed through the mentioned stages for 4 storm events with a 1-hour time step dated 6 Feb 1995, 3 Apr 2002, 5 May 2002, 31 Mar 2012. After a preliminary exploring of the simulation results, the calibration was done to improve the results of the simulation by changing the sensitive parameters of the model which are hydraulic conductivity, Manning' roughness and capillary drive in planes and channels (Al-Qurashi et al, 2008; Yatheendradas, 2008). Nash-Sutcliff (Krause et al, 2005) and Kling-Gupta (Gupta et al, 2009) model efficiency criteria were used to assess the model efficiency in simulation of the runoff in the Bar watershed.

Results and Discussion

Figure 1 shows the results of KINEROS2 model execution in the Bar watershed. The graphs show the observed and simulated runoff hydrographs which can be used to qualitative evaluation of the model performance. Comparison of the observed and simulated hydrographs in different events show that the model has a good performance to simulate the runoff.

In calibration step of the modelling, we tried to find a set of parameters to simulate all of the storm events but the performance of the model to simulate a storm event with a parameter set different from its parameter set was not good. By using a unique parameter set, only the value of Nash-Sutcliff obtained for the events dated 5 May 2002 and 31 Mar 2012 was acceptable so the event dated 31 Mar 2012 was simulated by the parameter set of the event dated 5 May 2002 and without calibration.

Quantitative comparison of the observed and simulated hydrograph was done using the Nash-Sutcliff and Kling-Gupta model efficiency criteria. The highest value of the Nash-Sutcliff

was obtained to be 0.67 for the event dated 3 Apr 2002 and the lowest value was 0.38 for the event dated 5 May 2002. The highest value of the Kling-Gupta was 0.71 for the event dated 3 Apr 2002 and the lowest value of this criterion was 0.21 for the event dated 31 Mar 2012.

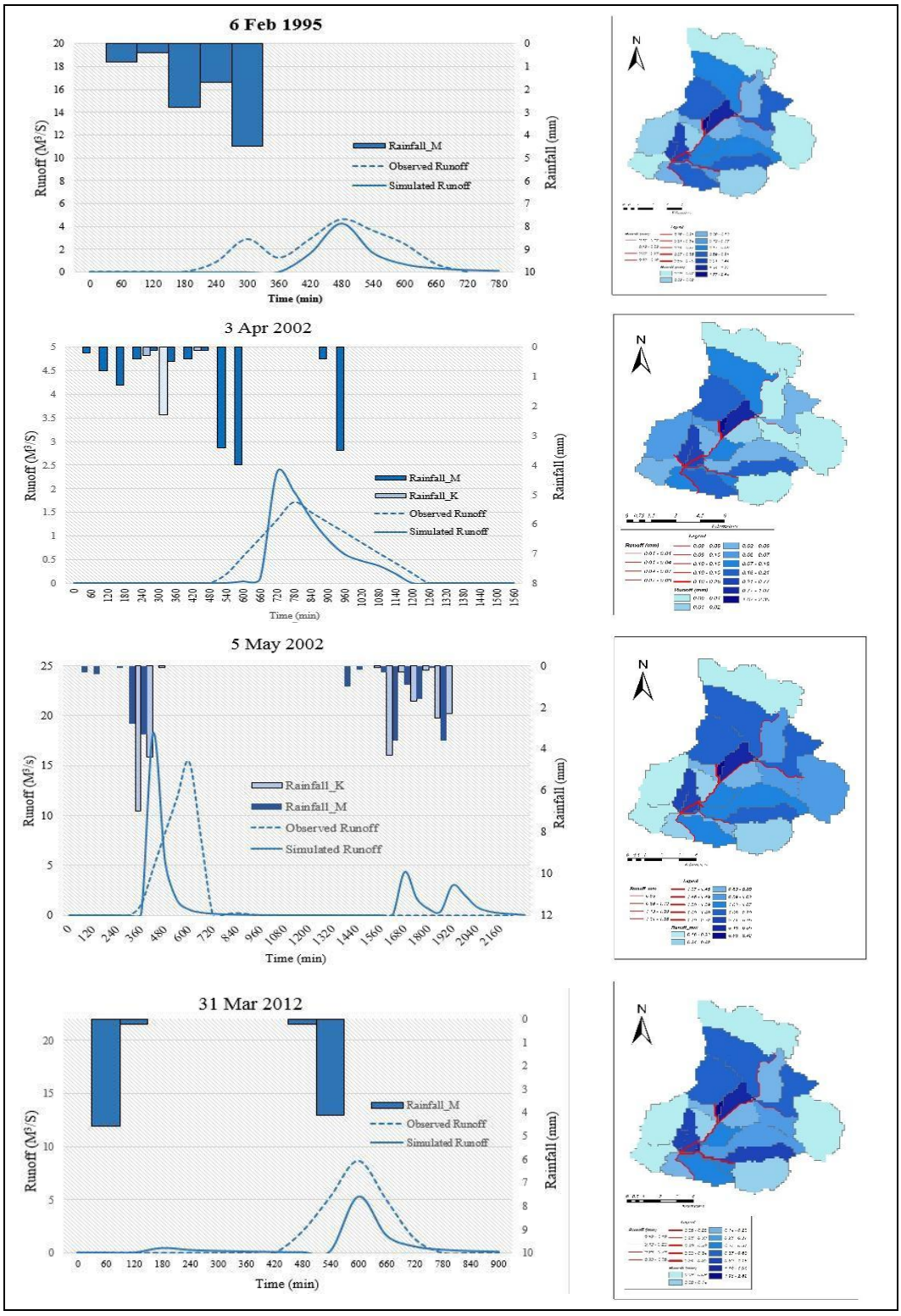


Fig. 1 Results of runoff simulation in the Bar watershed as hydrograph and map (rainfall and runoff in the graphs are based on mm and m³/s, respectively and runoff in the maps is based on mm)

The maps show the value of runoff from simulated events in each plane and channel. A darker blue color for a plane indicates that the runoff in that plane is more than the other planes. The maps indicate that the value of runoff in different planes is not same for different storm events.

Conclusions

This research was done to assess the efficiency of KINEROS2 hydrological model in simulation of runoff in the Bar watershed as a semiarid region. To do the research, 4 storm events dated 6 Feb 1995, 3 Apr 2002, 5 May 2002, and 31 Mar 2012 were selected and introduced to the model and then the corresponding runoff was simulated following the modeling stage through AGWA tool. Visual comparison of the observed and simulated hydrographs as well as the Nash-Sutcliff and Kling-Gupta model efficiency criteria were used to conclude about the model performance. Based on the values of Nash-Sutcliff and Kling-Gupta, the model has almost a good performance to simulate runoff in the Bar watershed.

Although we tried to find a set of parameters to simulate the runoff generated by all of the storm events, finally we found three parameter sets to calibrate 4 storm events. Despite having almost a good performance after calibration of the model for a storm event, the model had a weak performance to simulate a runoff with a set of parameters related to another storm event which is compatible with the results of Al-Qurashi et al (2008). The other weakness of the KNEROS2 model in simulation of runoff in the Bar watershed is that some sets of parameters can lead to the same result which is called equifinality of the parameter sets by Beven (2011).

AGWA can currently use STATSGO, SSURGO, or FAO soils (Levick et al, 2004). For Iran, only the FAO soil map can be used which have a high spatial resolution. So, the results may be affected and there is a need to modify the parameters of the model related to the soil based on the soil map of the region.

Having good observed data and having measurement of the measurable parameters will lead to better results. Considering the arid and semi-arid climatic condition of Iran, it is suggested that efficiency of the hydrological models suitable for use in the arid and semi-arid regions be explored in different regions of Iran. The results of such models will be helpful in the water resources management.

Table 1 Value of efficiency evaluation criteria

Event	Nash-Sutcliff	Kling-Gupta
6 Feb 1995	0.42	0.37
3 Apr 2002	0.67	0.71
5 May 2002	0.38	0.23
31 Mar 2012	0.47	0.21

References

Al-Qurashi, A., Macintyre, N., Wheater, H. Rainfall-Runoff Modeling using KINEROS Model. *Geophysical Research Abstracts*. 9. 2007.

Beven, K. J. Rainfall-runoff modelling: the primer. *John Wiley & Sons*. 2011.

Daniel, E.B., Camp, J.V., LeBoeuf, E.J., Penrod, J.R., Dobbins, J.P., Abkowitz, M.D. *Hydrology*, 5, 2011: 26-50.

Dashtpagerdi, M. M., Kousari, M. R., Vagharfard, H., Ghonchepour, D., Hosseini, M. E., & Ahani, H. An investigation of drought magnitude trend during 1975–2005 in arid and semi-arid regions of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 73(3), 2015:1231-1244.

Devia, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. A review on hydrological models. *Aquatic Procedia*, *4*, 2015: 1001-1007.

Goodrich D-C, UnKrich C-L, Smith R-E, Guertin D-P, Hernandez M, Burns I-S, Massart J-E, Levick L, Miller S-N, Semmens D-J, Kepner W-G. The AGWA-KINEROS2 suite of modeling tools. *Watershed management 2010, ASCE2011*: 1294-1305

Goodrich, D.C., Canfield, H.E., Burns, I.S., Semmens, D.J., Miller, S.N., Hernandez, M., Levick, L.R., Guertin, D.P., Kepner, W.G. Rapid Post-Fire Hydrologic Watershed Assessment Using the AGWA GIS-Based Hydrologic Modeling Tool. In: Proceeding, ASCE Watershed Management Conference, Williamsburg, VA, July 19-22, 2005.

Goodrich, D.C., I.S. Burns, C.L. Unkrich, D. Semmens, D.P. Guertin, M. Hernandez, S. Yatheendradas, J.R. Kennedy, L. Levick. KINEROS2/AGWA: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*. 55, 4, 2012: 1561-1574.

Gupta, Hoshin V., Harald Kling, Koray K. Yilmaz, and Guillermo F. Martinez. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology* 377, no. 1-2, 2009: 80-91.

He, C. Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management. *Environmental Modelling & Software 18.* 2003: 809–813.

Jafari, M., Vafakhah, M., Abghari, H., Tavassoli, A. Prediction of Strom Runoff Coefficient Using Artificial Neural Network in the Bar-Arye Watershed on Neyshabour. 2012.

Kalin, L., & Hantush, M. M. Assessment of two physically-based watershed models based on their performances of simulating water and sediment movement. *In Conference Proceedings, 1st Interagency Conference on Research in the Watersheds (ICRW), Benson, AZ*, 2003: 27-30.

Krause, Peter, D. P. Boyle, and Frank Bäse. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences* 5, 2005: 89-97.

Levick, L., Semmens, D.J., Guertin, D.P., Burns, I.S., Scott, S.N., Unkrich, C.L., Goodrich, D.C. Adding Global Soils Data to the Automated Geospatial Watershed Assessment Tool (AGWA). *International Symposium on Transboundary Waters Management*, Tucson, AZ, November 16-19, 2004.

Mirzaei, M., Galavi, H., Faghih, M., Huang, Y. F., Lee, T. S., & El-Shafie, A. Model calibration and uncertainty analysis of runoff in the Zayanderood River basin using generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) method. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. *62*, 5, 2013: 309-320.

Mollaefar, E. Evaluation of KINEROS2 Model for simulating flood hydrograph in the Ziarat Watershed. *MSc thesis.* 2014.

Nazarnejad, H., Solaimani, K., Shahedi, K., Sheikh, Vahedberdi. Application of AGWA-KINEROS2 Model for Estimation of Runoff in Northeast of Iran. *International Journal of Agronomy and Plant Production.* 4. 2. 2013: 329-335.

Rahmati, H., Ansari, H., Ziaee, A.N., Zeinivand, H. Evaluation of WetSpa Model for Rainfall-Runoff Simulation in Semi-Arid and Mountainous Watersheds (Case Study: Bar-Arye Watershed). *Iranian Journal of Irrigation Sciences and Engineering*. 40, 2, 2018: 75-87.

Westerberg, I.K., Guerrero, J.L., Younger, P.M., Beven, K.J., Seibert, J., Halldin, S., Freer, J.E., Xu, C.Y. Calibration of Hydrological Models Using Flow-Duration Curves. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 2011: 2205-2227.

Yatheendradas, S., Wagener, T., Gupta, H., Unkrich, Goodrich, D., Schaffner, M., Stewart, A. Understanding Uncertainty in Distributed Flash Flood Forecasting for Semiarid Regions. Water Resources Research, Vol 44. 2008:1-17.

Assessment of changes in river runoff for small and medium-sized rivers in the Russian part of the Baltic Sea basin under non-stationary climatic conditions

***Timchenko Darya*[1], *Vuglinsky Valery*[2]**
[1]*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*
[2]*State Hydrological Institute, St. Petersburg*
darinatimchenko9@mail.ru

Abstract: This work is carried out in the framework of hydrological research. The aim of the work is to assess changes in various characteristics of river runoff in the Russian part of the Baltic Sea basin under climate change conditions. The study examines the characteristics of the water regime, the data of which correspond to specified conditions. Within the framework of this article: analysis of homogeneity of long-term series of observations, identification of trend components in time series for the period (1980-2015), comparison of the mean values of time series for two periods (1952-1979 and 1980-2015) and, finally, the obtaining of the total quantitative values of the changes for the period 1980-2015. compared with the previous period.

Keywords: hydrological regime, homogeneity, significance of trends, total changes

Introduction

For the first time, the effect of global warming began to be discussed in the 1960s, but it was officially announced only in the 80th session at the UN meeting.

Global warming is manifested in the warming of the atmosphere and the ocean, the reduction of snow and ice reserves, and rising sea levels. Each subsequent decade is characterized by higher air temperatures than the previous one, and in the northern hemisphere, the last three decades are generally considered to be the warmest for more than a thousand years (IPCC, 2014).

Global warming affects many natural processes, including the hydrological regime of rivers. Changes in the amount of atmospheric precipitation and their annual distribution, duration of snow cover and water supply have a decisive influence on the formation of river runoff, soil moisture and the water resources of the territories.

Objectives and data

The main goal of the work is to assess the dynamics of various characteristics of river runoff in the Russian part of the Baltic Sea basin under climate change conditions. To achieve this goal, the geographical conditions of the region were studied, hydrological stations on the rivers of the territory under consideration were selected with long-term series of observations: data were collected on the dynamics of water flow at selected posts, and a corresponding electronic database was created.

Methodology

The methodology consists of the analysis in the homogeneity of long-term series of observations, the identification of trend components in time series for the period of the unsteady climate situation (1980-2015), comparison of the mean values of time series for two periods (1952-1979) and (1980-2015) and, finally, the receipt of total quantitative values of changes in river runoff for the period 1980-2015 compared with the previous one. Averaged annual and monthly water flow were used for the calculation.

Results

Homogeneity

It has been established that for river posts homogeneity hypothesis with a probability of 0.95 by the Student's criterion (Samarov, 1998) does not correspond to more than half of the series for the annual water discharge - 11 out of 13. In the calculation of homogeneity for mean monthly discharges, correspondence was observed mainly in the summer months. The largest specific weight of inhomogeneous series (3 of 13) is characteristic for the stations located in the basin of the Luga River.

It was also calculated the significance of trends in the interannual distribution of runoff over three periods: from 1952 to 1979, from 1980 to 2015 and for the entire period from 1952 to 2015.

By using the Student's test an assessment of the significance of trends in river runoff series was made with probability (0.95). The results were obtained for both annual and monthly water flow.

Assessment of quantitative changes

To obtain summary estimates of the changes in the characteristics of river runoff under consideration during the non-stationary climatic situation, the results of estimations of trend components for the first period and changes in the mean values for the two periods considered were used. It is established that for more than half a stations there is a decrease in the annual river runoff, as well as a decrease in the mean monthly river runoff for a period of the non-stationary climatic situation (1980-2015) in comparison with the previous period. Integrated values of changes in annual river runoff are given in Table 1.

Table 1 Changes in annual river discharges for the period of non-stationary climate

River - station	Annual river runoff (norm)	Changes, m^3/s	
		For the period	Averaged for 10 years
Perevka - Goncharovo	2,61	-0,06	-0,01
Gorokhovka - Tokarevo	8,12	0,92	0,09
Mga - Mountains	6,01	0,99	0,10
Meadows - Meadows	15,64	-2,12	-0,23
Luga - Tolmachevo	43,06	-15,65	-1,63
Luga - Kingisepp	100,29	-2,48	-0,32
Lizard - Dolgovka	4,64	0,36	0,03
Plyussa - Plyussa	9,95	-3,77	-0,39
Plyussa - Brod	40,72	-2,16	-0,24
Sist - Middle Raikovo	6,76	-0,58	-0,06
Kovashi - Lendovshina	4,10	0,72	0,07
Tosna - Tosno	8,67	0,36	0,03
Oredej -Vyritsa	7,93	1,44	0,14

Most significant negative changes in annual river runoff over a non-stationary period were obtained for two rivers – Luga and Plyussa (Table 1).

Comparing the results received for mean monthly water flow, it was concluded that rather significant positive changes took place in winter months and rather significant negative changes - during spring and autumn. Highest changes in mean monthly discharges were discovered for rivers with most negative trends in annual river runoff - Luga – Tolmachevo, Luga – Kingisepp and Plyussa – Plyussa.

An example of interannual distribution of mean monthly changes in river runoff is presented in Figure 1. It reflects positive changes in winter months and negative changes during the rest period.

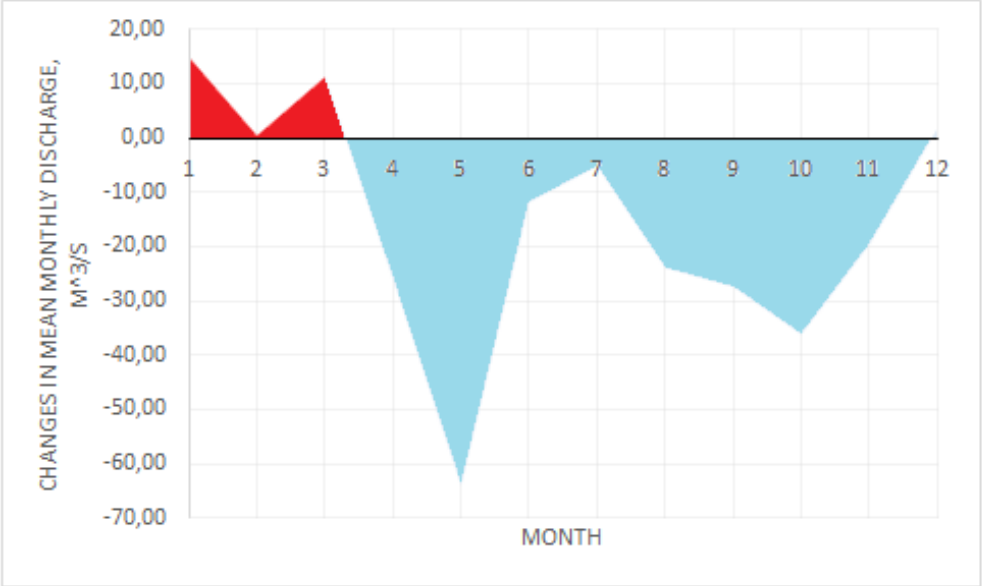


Figure 1. Changes in mean monthly water flow for the period 1980-2015 (Luga – st.Tolmachevo)

References

Climate change 2014: Summary for policymakers, IPCC
Samarov K. L., Mathematical Statistics, 1998
Water resiurces of Russia and Their Use", State Hydrological institute, Saint Petersburg, 2008, 598 p

Large-scale runoff signatures predictions using regressions and hydrological modelling

***Zhang Y.*[1], Chiew Francis H.S[1], Li M.[2]**
[1]*CSIRO Land and Water, GPO Box 1700, Acton 2601, Canberra, Australia*
[2]*CSIRO Data61, Private Bag No. 5, Wembley, WA 6913, Australia*
yongqiang.zhang@csiro.au

Abstract: One fundamental question that hydrologists face is to understand and predict hydrological behavior under different climate or catchment conditions. When various hydrological signatures are identified, it can relatively easy to conduct water resource management, catchment classification and even predicting runoff time series. A runoff signature refers to a distinctive set of runoff or streamflow indices for a catchment at different temporal steps. They include runoff coefficient, zero flow ratio, flow at different percentiles, a measure of runoff seasonality, flow duration curves, etc. This study using three approaches: multiple linear regression, regression tree ensemble, and hydrological modelling to predict thirteen runoff signatures for 605 Australian catchments. The results show that mean annual and high flow signatures can be well predicted by all of the three approaches. But, low flow and flow dynamic signatures are hard to predict, with best performance from the regression tree ensemble, intermediate performance from multiple linear regression and the worst from the hydrological modelling. These results suggest that the regression tree ensemble offers significant potential for large-scale runoff signature predictions in ungauged catchments and in the future.

Keywords: hydrological modelling, predictions, large scale

Секция 3
Грани гидроэкологии и водопользования

Session 3
Ecohydrology and water use

Деформации береговой линии и островов Камского водохранилища в районе переменного подпора (на участке п. Керчевский – п. Тюлькино) в многолетнем аспекте

Алексеев А.С., Шайдулина А.А.
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь
makintoshka2505@yandex.ru

Аннотация: Рассматриваются особенности деформаций береговой линии и островов Камского водохранилища в районе переменного подпора (на участке п. Керчевский – п. Тюлькино, около 15 км) за период с 1954 по 2016 гг. Изучаются два фактора, влияющие на процессы деформации береговой линии и островов в районе переменного подпора: гидродинамический (скоростной и уровенный режимы водохранилища) и геоморфологический. Одним из ведущих факторов, определяющих характер поступающих и переносимых наносов, является литология берегов и ложа водохранилища. Образование водохранилища активизировало внешнюю геодинамику, и берега (особенно в первые годы существования водохранилища), начали довольно быстро разрушаться. Данный процесс на основной части водохранилища носит затухающий характер. При сработке водохранилища из подпора выходит его верхняя часть, называемая нами районом переменного подпора. Значительные колебания уровня и большая амплитуда скоростей течения мешают здесь процессам стабилизации. Первым, приближенным, методом исследования происходящих процессов преобразования береговой линии и островов (горизонтальных деформаций) на исследуемом участке (п. Керчевский – п. Тюлькино) является анализ лоцманских карт и космоснимков. На участке преобладают речные условия, поэтому в анализе использована терминология, применяющаяся для исследований деформаций на реках.

Ключевые слова: Камское водохранилище, район переменного подпора, скоростной режим, уровенный режим, береговая линия, острова, космоснимки.

Введение

Участок от п. Керчевский до п. Тюлькино входит в район переменного подпора Камского водохранилища. Этот район характеризуется сложным, практически не изученным гидрологическим режимом, что объясняется периодической сменой гидродинамических условий. Район переменного подпора охватывает русловые участки притоков водоема и его граница изменяется в соответствии с отметкой уровня водохранилища (Шайдулина и Вюшкова, 2017). Выше границы выклинивания четко выражено однонаправленное движение воды, характерное только для речных условий. Это обусловливает миграцию русловых аккумулятивных форм (заструг, закосков, кос, отмелей, гряд и т.д.) и повышенную изрезанность береговой линии. Процесс миграции в значительной мере контролируется сезонной изменчивостью стока воды и наносов. В конце весеннего периода на спаде половодья и формирования подпорных уровней происходит ежегодная перестройка рельефа в прибрежной зоне участка. Следствием этого является образование массы осередков, отмелей, островов. В целом, осередки и острова являются характерной русловой формой для рек, и их наличие на исследуемом участке свидетельствует о преобладании здесь речных условий. Таким образом, с изменениями водного баланса связаны колебания уровня вод, что влечет за собой изменение морфометрических характеристик водоемов, в том числе очертаний береговой линии и изменчивости русловых форм.

Одним из ведущих факторов, определяющих характер поступающих наносов, является литология берегов и ложа водохранилища. Наиболее распространены здесь палеозойские отложения, на которых базируются четвертичные, представленные, преимущественно осадочными породами (пески, глины, песчаники, известняки и пр.). Образование водохранилища активизировало внешнюю геодинамику, и берега (особенно в первые годы существования водохранилища), начали довольно быстро разрушаться. Отбор проб гранулометрического состава донных отложений и содержания взвешенных веществ в 2016 и 2017 годах показал, что над затопленным руслом в большинстве проб преобладают пески различной крупности с включениями гальки; на мелководье – мелко и среднезернистые пески. Содержание взвешенных веществ колеблется в широких пределах (от 0,60 до 3,25 мг/дм^3).

Район переменного подпора, простирающийся от п. Керчевский до п. Усть-Пожва в целом, и исследуемый участок в частности, в силу особенностей своих морфометрических показателей, а именно небольшим значениям ширины и глубины относится к району флювиогляционного морфолитогенеза, где основной причиной формирования облика котловины являются стоковые течения. Гидродинамический режим района определяется перемещением по нему границы выклинивания подпора. Ведущим фактором здесь является регулирование положения отметок уровня. Участок от п. Керчевский до п. Тюлькино характеризуется преобладанием речных условий. Максимальные скорости в нем наблюдаются в весенний период и достигают 2 м/с, а минимальные – в периоды летне-осенней стабилизации и зимней сработки и составляют в среднем 0,10-0,30 м/с (Шайдулина и Двинских, 2017).

Материалы и методы

Характеристика деформаций береговой линии и островов исследуемого участка Камского водохранилища выполнена по лоцманским картам и уточнениям к ним (1954, 2001, 2009, 2010, 2011 гг.) и космоснимкам (2004, 2014, 2016 гг.). На участке преобладают речные условия, поэтому в анализе использована терминология, применяющаяся для исследований деформаций на реках. Район имеет протяжённость 15 км и включает в себя о. Соломинский, о. Тюлькинский Верхний, о. Тюлькинский. В период наполнения водохранилища (1954 г.) береговая линия как самого участка водоёма, так и рассматриваемых островов имела очертания, присущие реке Каме до создания водохранилища. Современный о. Соломинский в тот период был побочнем, глубоководная часть русла Камы прижималась к правому берегу. Судовой ход в тот период был также прижат к правому берегу и проходил узкой полосой между ним и островами Тюлькинским Верхним и Тюлькинским. Протоки между островами не судоходны. В целом можно отметить, что карта за 1954 год носит обзорный характер и не содержит подробной информации.

Результаты

В ходе анализа участка Камского водохранилища в районе п. Тюлькино на современном этапе было выявлено значительное переформирование данного участка.

1) Отделился от левого берега о. Соломинский;

2) Судовой ход, который проходил в 1954 г. справа, переместился в районе о. Соломинский к левому берегу, и теперь проходит между островами Соломинским и о. Тюлькинским Верхним;

3) Габариты судового хода увеличились (по ширине), что связано с характером регулирования.

В период с 2001 по 2011 годы заметно сильное изменение ухвостья о. Соломинский. С 2001 года наблюдается постепенное отчленение части острова, чему способствует его

ежегодное затопление. С 2001 года левобережная протока у острова постепенно развивается, становясь более многоводной к 2011 году.

Очертания о. Тюлькинский Верхний за этот же период не претерпели значительных изменений, потому что основной поток воды более сильное воздействие оказывает на правый берег водохранилища, являющийся приглубым и обрывистым, и не затрагивает собственно остров. Те же самые процессы характерны и для о. Тюлькинский, однако в период 2001-2011 год протока между левым берегом водохранилища и островом увеличилась как в глубину, так и в ширину. Далее для анализа были использованы космоснимки за разные периоды времени (рис. 1).

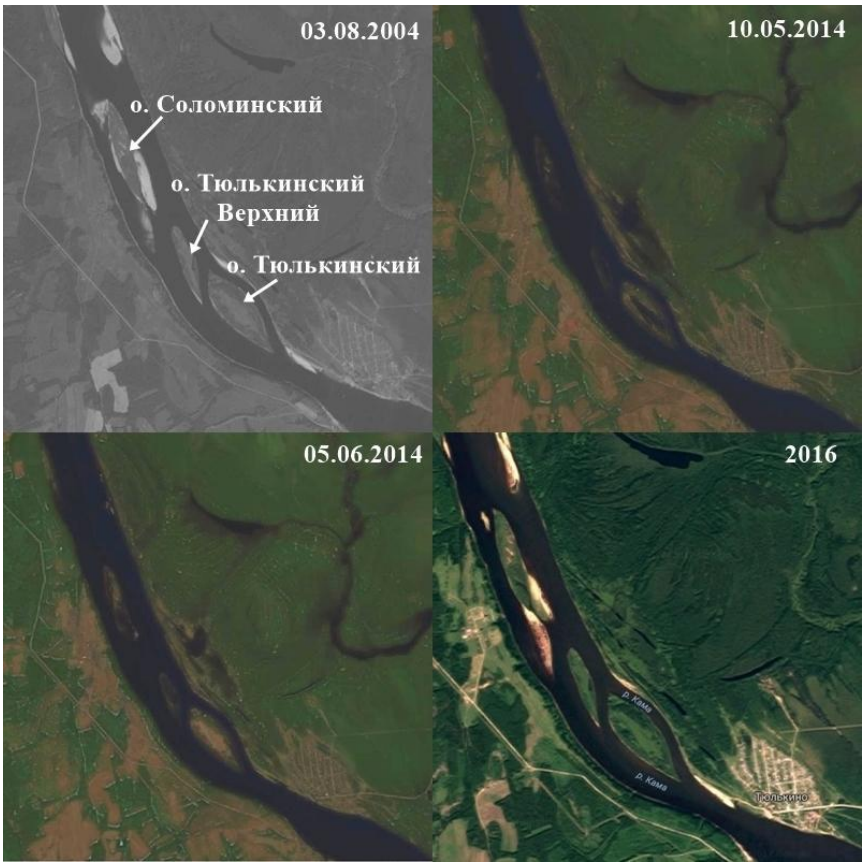


Рис. 1. Космоснимки исследуемого района Камского водохранилища в районе п. Тюлькино

Анализ космоснимков исследуемого района показал, что в летний период заметно обмеление берегов у островов Соломинский, Тюлькинский Верхний, Тюлькинский (снимки 2004 и 2016 годов). Снимок 2014 года, пришедшийся на весенний период, свидетельствует о подтоплении островов и береговой линии водохранилища в период наполнения. В начале лета заметен постепенный сход воды, что свидетельствует о начале летне-осенней стабилизации уровня воды в Камском водохранилище. Максимальные величины скоростей также приурочены к периоду весеннего наполнения, т.е. подъём уровня воды и скоростной режим являются главными факторами переформирования береговой линии водохранилища и его островов.

Выводы

В ходе изучения Камского водохранилища в районе п. Тюлькино были рассмотрены два фактора, влияющие на процессы деформации береговой линии и островов в районе переменного подпора: гидродинамический (скоростной и уровенный режимы водохранилища) и геоморфологический. Влияние скоростного режима проявилось через переформирование побочня в независимый остров. Для анализа этого процесса было

проведено сравнение между собой 5 лоцманских карт за 1954, 2001, 2009, 2010 и 2011 годы и 4 космоснимков за годы 2004, 2014 и 2016 годы. Для сравнения были выбраны 2 острова (Верхний Тюлькинский и Тюлькинский) и побочень, впоследствии ставший островом Соломинский. Влияние уровенного режима прослеживается в периоды сезонных колебаний уровней воды в водохранилище: период весеннего наполнения и летней стабилизации. Для анализа влияния уровенного режима на деформации берегов были изучены космоснимки исследуемого района. Анализ показал, что в период весеннего наполнения рассмотренные выше острова подвергались затоплению, а в период летней стабилизации, когда уровни опускаются до навигационных, острова подвергаются обмелению. Таким образом, рассмотренные признаки переформирования берегов требуют более детального изучения, которое будет проведено с помощью программного обеспечения ArcGis, а также учета имеющейся информации по гидродинамическому режиму данного участка.

Список литературы

Шайдулина А.А. Вюшкова Е.А. Уровенный режим Камского и Воткинского водохранилищ в многолетнем аспекте // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов* / труды VI Международной научно-практ. конф. Пермь, Т.1., 2017: 177-185

Шайдулина А.А., Двинских С.А. Режим скоростей течения в районе переменного подпора Камского водохранилища // *Географический вестник* = Geographical bulletin. 2017. №3(42). С. 61–70. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-61-70.

Deformation of the shore line and islands of the Kama reservoir in the area of variable backwater (at the Kerchevsky-Tulkino site) in a multi-year aspect

Alekseev A.S., Shaidulina A.A.
Perm State University, Perm
makintoshka2505@yandex.ru

Abstract: Specifics of deformations of the shoreline and islands of the Kama Reservoir in the area of variable backwater (at the site of Kerchevsky-Tyulkino, about 15 km) for the period from 1954 to 2016 are considered. Two factors that influence the processes of deformation of the shoreline and islands in the region of variable support are studied: hydrodynamic (high-speed and level reservoir modes) and geomorphological. One of the leading factors determining the nature of incoming and transported sediments is the lithology of the banks and the bed of the reservoir. The formation of the reservoir activated the external geodynamics, and the banks (especially in the first years of the reservoir's existence) began to collapse quite quickly. This process on the main part of the reservoir is damped. When the reservoir is operated from the overflow, its upper part comes out, called the area of variable delivery. Significant fluctuations in the level and a large amplitude of flow velocities hinder the stabilization processes here. The first, approximate, method of investigating the ongoing processes of transformation of the shoreline and islands (horizontal deformations) in the investigated area (Kerchevsky - Tyulkino) is the analysis of pilot maps and satellite imagery. River conditions prevail on the site, therefore the terminology used for the investigation of deformations on rivers is used in the analysis.

Keywords: Kama Reservoir, the area of variable backwater, high-speed regime, level regime, coastline, islands, space images.

Анализ качества поверхностных вод бассейна реки Нура по гидрохимическим показателям

***Байкенова Г.Г.*[1], Исаев Д.И.[2], Бенц Т.В.[1]**
[1]*Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза,*
г. Караганда, Республика Казахстан
[2]*Российский государственный гидрометеорологический университет,*
Санкт-Петербург, Россия
murzabek_b@mail.ru

Аннотация: Центральный Казахстан богат на многие природные ресурсы, и в то же время испытывает острый недостаток в воде. Проблема усиливается и тем, что регион является крупным горнопромышленным центром, для развития которого требуются огромные запасы воды. Целевым назначением работы является оценка качества поверхностных вод бассейна реки Нура по гидрохимическим показателям. Результаты исследования основаны на ежегодных отчетах «Проведение мониторинга окружающей среды бассейна реки Нура».

Ключевые слова: река Нура, поверхностные воды, экологический мониторинг, загрязнение, гидрохимические показатели

Река Нура – самая крупная река Центрального Казахстана. Она берет начало в западных отрогах гор Кызылтас и, пройдя практически по равнинной обезвоженной степи без малого тысячу километров, впадает в озеро Тенгиз. Река питает весь Казахский мелкосопочник и знаменитые Коргалжинские озера (1, с.1).

Основной источник питания реки – снежные запасы. Характерные для Центрального Казахстана интенсивное развитие весны и преобладание степного ландшафта приводят к быстрому формированию половодья на реке и её притоках. В летне-осенне-зимний период расходы воды значительно уменьшаются. Наиболее крупные водотоки и основные показатели бассейна р.Нура имеющие наибольшую площадь водосбора представлены реками: р.Шерубай-Нура (15600 км^2), р.Сокыр (3220 км^2), р.Есен (3430 км^2); самую наименьшую – левый приток р.Койтас (90,8 км^2) (Жангожина Г.М., 2010).

Вдоль территории бассейна реки Нура интенсивно развиваются горнодобывающая и черная металлургическая промышленность, легкая и пищевая промышленность, пастбищное и загонное животноводство, имеется густая сеть автомагистралей и железнодорожных магистралей и другие коммуникации, расположены города Караганда, Темиртау, Шахтинск, Сарань и большое количество сельских населенных пунктов. Увеличение численности населения и рост городов, развитие промышленного и сельскохозяйственного производства в регионе обусловили активное вовлечение природных ресурсов в хозяйственной оборот, что способствует обострению экологических проблем.

Ежегодно, в рамках бюджетной программы «Проведение наблюдений за состоянием окружающей среды» проводится мониторинг окружающей среды бассейна реки Нура.

Наблюдения за качеством поверхностных вод проводятся на 25 гидрохимических створах 8 водных объектов бассейна реки Нура: река Нура, река Кокпекты, река Шерубай-Нура, река Сокыр, канал объединенного сброса сточных вод АО "Арселор Миттал Темиртау" и АО "ТЭМК", Самаркандское водохранилище и 4 озера Коргалжинского заповедника, канал Нура-Есиль (рис.1).

Как видно из таблицы, за последние 3 года (с 2015 по 2017 г.г.) высокое загрязнение наблюдалось на реках Сокыр и Шерубай-Нура. Превышение ПДК по аммонию солевому в 13,3 и 13 раз на р. Сокыр и Щерубай-Нура. Азот нитритный превышает предельно-

допустимые нормы в реках Сокыр и Щерубай-Нура в 20,1 и 20,9 раз соответственно (Информационный бюллетень «О состоянии окружающей среды бассейна реки Нура 2015-2017гг.).

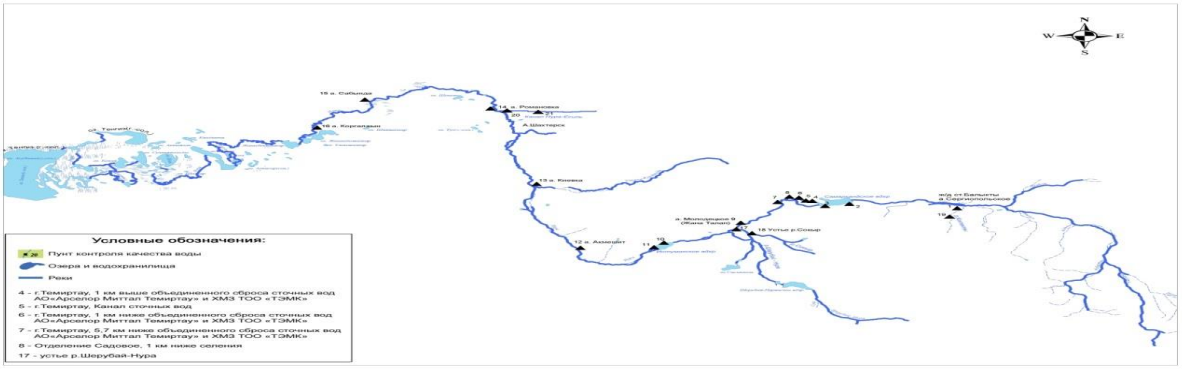


Рисунок 1 - Схема расположения гидрохимических створов

Повышенное содержание марганца, меди, цинка, сульфатов наблюдалось во всех исследуемых водоемах.

В 2016-2017 годы наблюдалось высокое содержание марганца, до 27,2 ПДК, в р. Кокпекты, к 2017 году этот показатель существенно снизился и составлял превышение ПДК в 5,8 раза. Содержание марганца в реке Щерубай-Нура и Сокыр также существенно изменяется, если в 2016 году превышение марганца было в 30,8 и 31,6 раз, соответственно то в 2017 году этот показатель уже составлял превышение в 11,3 и 10, 2 раза (Информационный бюллетень «О состоянии окружающей среды бассейна реки Нура 2015-2017г. г.).

Проведенные исследования показали, что воды на реках Сокыр и Шерубай-Нура характеризуются как "очень грязные воды" (6 класс).

Воды Самаркандского водохранилища, озера Шолак и Есей относились к " грязным водам" (4 класс). Качество вод реки Кокпекты, канала Нура-Есиль и створ "Канала сброса сточных вод АО "Арселор Миттал Темиртау" и АО "ТЭМК" соответствовало " грязным" водам (5 класс).

Источниками загрязнения водного бассейна реки Нура являются сбросы промышленных и коммунальных предприятий, прошедшие очистку на очистных сооружениях и аварийные сбросы. Все гидротехнические сооружения были построены в 40-70-е годы XX века, поэтому многие системы выходят из строя, некоторым предприятиям необходимо построить дополнительные гидротехнические сооружения и произвести ремонтные работы.

Загрязнение и дефицит водных ресурсов представляет собой серьезную экологическую проблему для устойчивого развития Казахстана. Рациональное использование водных ресурсов в настоящее время представляет собой крайне насущную проблему. Это, прежде всего охрана водных пространств от загрязнения, а так как промышленные стоки занимают первое место по объёму и ущербу, который они наносят, то именно в первую очередь необходимо решать проблему сброса их в реки. В частности, следует ограничить сбросов в водоёмы, а также усовершенствование технологий производства, очистки и утилизации. Также важным аспектом является взимание платы за сброс сточных вод и загрязняющих веществ и перечисление взимаемых средств на разработку новых безотходных технологий и сооружений по очистке (Baikenova G.G. 2012). По всей видимости, пути решения проблемы загрязнения водных ресурсов в РК лежат, прежде всего, в области разработки развития законодательной базы, которая

позволила бы реально защитить окружающую среду от вредного антропогенного воздействия, а также изыскании путей реализации этих законов на практике.

Таблица 1 – Состояние качества поверхностных вод бассейна реки Нура по гидрохимическим показателям за 2015-2717 года

Наименование водного объекта	Загрязняющее вещество						
	Наимено-вание	2015 г.		2016 г.		2017 г.	
		Конц-ия, мг/дм^3	Кратн. превыш. ПДК	Конц-ия, мг/дм^3	Кратн. превыш. ПДК	Конц-ия, мг/дм^3	Кратн. превыш. ПДК
р. Кокпекты	Медь	0,0068	6,8	0,0047	4,7	0,0041	4,1
	Цинк	0,032	3,2	0,014	1,4	0,024	2,4
	Марганец	0,275	27,5	0,243	24,3	0,058	5,8
	Сульфаты	384	3,8	409	4,1	269	2,7
Самаркандс-кое водохра-нилище	Медь	0,0041	4,1	0,0024	2,4	0,0034	3,4
	Цинк	0,025	2,5	0,011	1,1	0,016	1,6
	Марганец	0,148	14,8	0,063	6,3	0,030	3,0
	Сульфаты	146	1,5	191	1,9	193	1,9
Канал объед. сброса сточных вод АО "Арселор Миттал Темиртау" и ХМЗ АО"ТЭМК"	Медь	0,0066	6,6	0,0040	4,0	0,0034	3,4
	Цинк	0,037	3,7	0,022	2,2	0,027	2,7
	Марганец	0,264	26,4	0,165	16,5	0,044	4,4
	Сульфаты	270	2,7	280	2,8	244	2,4
Река Шерубайнура	Аммоний солевой	4,92	9,8	0,77	1,5	6,48	13,0
	Азот нитритный	0,625	31,3	0,814	40,7	0,402	20,1
	Медь	0,0044	4,4	0,0073	7,3	0,0045	4,5
	Марганец	0,308	30,8	0,235	23,5	0,110	11,3
Река Сокыр, район автодорожного моста	Аммоний солевой	5,20	10,4	0,72	1,4	6,62	13,2
	Азот нитритный	0,786	39,3	0,861	43,1	0,418	20,9
	Медь	0,0043	4,3	0,0062	6,2	0,0050	5,0
	Марганец	0,316	31,6	0,215	21,5	0,102	10,2
Озеро Шолак (Коргалж. заповедник)	Медь	0,0032	3,2	0,0036	3,6	0,0018	1,8
	Марганец	0,214	21,4	0,170	17,0	0,028	2,8
	Сульфаты	190	1,9	269	2,7	166	1,7
озеро Есей (Коргал. заповедник)	Медь	0,0042	4,2	0,0024	2,4	0,0016	1,6
	Марганец	0,212	21,2	0,110	11,0	0,026	2,6
	Хлориды	1922	6,4	645	2,2	580	1,9
	Сульфаты	1203	12,0	668	6,7	209	2,1
Канал Нура-Есиль, место слияния	Медь	0,0043	4,3	0,0042	4,2	0,024	2,4
	Цинк	0,020	2,0	0,011	1,1	0,0016	1,6
	Марганец	0,336	33,6	0,190	19,0	0,024	2,4
	Сульфаты	126	1,3	284	2,8	170	1,7
Канал Нура-Есиль 246-й км	Медь	0,0040	4,0	0,0042	4,2	0,0022	2,2
	Марганец	0,342	34,2	0,220	22,0	0,032	3,2
	Сульфаты	191	1,9	299	3,0	153	1,5
Примечание: Составлена по данным «Информационного бюллетеня о состояния окружающей среды бассейна реки Нура» за 2015-2017г. г. – Астана.							

Список литературы

www.fgids.com.

Жангожина Г.М. Геолого-тектонические особенности бассейна верхнего течения реки Нуры // Вестн. КарГУ. Сер. Биология. Медицина. География. – 2010. №1 (57). – С.84-88.

Информационный бюллетень «О состоянии окружающей среды бассейна реки Нура // Министерство энергетики Республики Казахстан. – Астана. - 2015 г.

Информационный бюллетень «О состоянии окружающей среды бассейна реки Нура // Министерство энергетики Республики Казахстан. – Астана. - 2016 г.

Информационный бюллетень «О состоянии окружающей среды бассейна реки Нура // Министерство энергетики Республики Казахстан. – Астана. - 2017 г.

Baikenova G.G. Water use patterns and its perceived quality in the villages of Pavlodar oblast // Messenger KEUK. - 2012. - №4. - P.122-124.

Analysis of quality of surface waters of the Nura basin on hydrochemical indicators

***Baikenova G.G.*[1], *Isaev D.I.*[2], *Benz T.V.*[1]**
[1]*Karaganda Economic University of Kazpotrebsouz, Karaganda, Republic of Kazakhstan*
[2]*Russian State Hydrometeorological University,*
Saint-Petersburg, Russia
murzabek_b@mail.ru

Abstract: Central Kazakhstan is rich in many natural resources, and at the same time, it suffers from an acute shortage of water. The problem is aggravated by the fact that the region is a large mining center, for the development of which huge water reserves are required. The purpose of the work is to assess the quality of the surface waters of the Nura River basin by hydrochemical indicators. The results of the study are based on the annual reports "Conducting Environmental Monitoring of the Nura River Basin".

Keywords: Nura River, surface waters, ecological monitoring, pollution, hydrochemical indicators.

Анализ проб почв и донных отложений бассейна реки Нуры

***Бенц Т.В.*[1], *Ескул Б.*[2]**
[1]*Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза,*
г. Караганда, Республика Казахстан
[2] *Российский государственный гидрометеорологический университет,*
Санкт-Петербург, Россия
benc@bk.ru

Аннотация: Основной экологической проблемой Карагандинской области является загрязнение реки Нуры ртутью. Загрязнение произошло в результате производственной деятельности АО «Карбид» на протяжении длительного времени, имеющего в своем составе ацетальдегидное производство с использованием в технологическом цикле солей ртути в качестве катализатора. В статье проанализированы материалы по загрязнению ртутью донных отложений реки, по данным «Информационного бюллетеня о состояния окружающей среды бассейна реки Нура».

Ключевые слова: река Нура, загрязнение, ртуть, донные отложения, водные ресурсы.

Реки и озера Казахстана являются источниками воды, потребляемой населением страны для различных нужд, при этом запасы пригодной воды уменьшаются, а потребность в ней растет в связи с развитием крупных городов. Поэтому проблема экологического состояния водных объектов является актуальной для всех водных бассейнов Казахстана. Значительная часть пресноводных экосистем функционирует в режиме высоких нагрузок химическими загрязнителями, что связано с расположением большинства промышленных объектов в бассейнах крупных и малых рек.

Ртуть, являясь опасным загрязнителем окружающей среды, особенно вредна при поступлении в воду, поскольку в результате деятельности населяющих дно микроорганизмов происходит образование растворимых в воде токсичных органических соединений. Они в свою очередь сорбируются на взвешенных частицах и накапливаются в донных отложениях. Типичные содержания ртути в донных отложениях на 3-4 порядка выше, чем в воде и являются информационной частью водных систем с позиции оценки степени их устойчивого загрязнения (Иванов А.Ю., Губина К.А., 2015).

Главное техногенное воздействие на окружающую среду в Карагандинской области и, в частности на реку Нура оказывают Карагандинско-Темиртаусский, Шерубай-Нуринский промышленные районы, охватывающие значительные территории. Основной экологической проблемой области является загрязнение донных отложений реки Нуры ртутью. Загрязнение произошло в результате производственной деятельности АО «Карбид» на протяжении длительного времени, имеющего в своем составе ацетальдегидное производство с использованием в технологическом цикле солей ртути в качестве катализатора. В 1997 году ацетальдегидное производство было закрыто, и тем самым, прекращено поступление ртути в р. Нуру. В процессе эксплуатации данного производства в донных отложениях реки Нуры накоплено около 150 тонн ртути. В связи с этим состояние водных ресурсов реки Нура рассматривается как очень тяжелое (Мукашева М.А., Нурлыбаева К.А., 2017).

Ежегодно, в рамках бюджетной программы «Проведение наблюдений за состоянием окружающей среды» проводится мониторинг окружающей среды бассейна реки Нура. С целью оценки экологического состояния реки Нура был проведен обор проб почв и донных отложений проводился в районе гидрохимических створов на реке Нура, на водохранилищах Самаркан и Интумакское, канале объединенного сброса сточных вод АО

"АрселорМиттал Темиртау" и АО "ТЭМК", Коргалжинских озерах (Шолак, Есей, Султанкельды, Кокай) (таблица 1).

Таблица 1 - Результаты анализа проб почв и донных отложений бассейна реки Нуры за 2017 год

Название гидрохимического поста	**Содержание ртути, мг/кг**
Река Нура, железнодорожная станция Балыкты	0,011
Самаркандское водохранилище, 0,5 км выше плотины	0,084
Река Нура, город Темиртау 1км выше объединенного сброса сточных вод АО «Арселор МиттalТемиртау» и ХМЗ АО «ТЭМК»	0,128
Канал объединенного сброса сточных вод АО «Арселор МиттalТемиртау» и АО«ТЭМК»	17,1
Река Нура, 1км ниже объединенного сброса сточных вод АО «Арселор МиттalТемиртау» и АО «ТЭМК»	10,4
Река Нура, отделение Садовое	1,12
Река Нура, село Молодецкое	0,074
река Нура, село Акмешит	0,01
река Нура, поселок Киевка	0,01
река Нура, село Романовка	0,02
река Нура, село Сабынды	0,02
река Нура, село Коргалжин	0,01
озеро Шолак	0,01
озеро Есей (Коргалжинский заповедник)	0,01
озеро Султанкельды (Коргалжинский заповедник) Северо-восточный берег	0,01
озеро Кокай (Коргалжинский заповедник)	0,01
Примечание: Составлена автором по данным «Информационного бюллетеня о состояния окружающей среды бассейна реки Нура» за -2017г. г – Астана.	

Наибольшее содержание ртути наблюдалось в пробах почв и донных отложений, отобранных в объединенном Канале сброса сточных вод АО "АрселорМиттал Темиртау" и АО "ТЭМК" в районе места впадения Канала в реку Нура (17,1 мг/кг); ниже по течению реки Нура в створе река Нура "1 км ниже объединенного сброса сточных вод АО "АрселорМиттал Темиртау" и АО "ТЭМК" (10,4 мг/кг).

Повышенное содержание ртути в почве и донных отложениях зарегистрировано река Нура "отделение Садовое" (1,12 мг/кг); "5,7 км ниже объединенного сброса сточных вод АО "АрселорМиттал Темиртау" (2,45 мг/кг)**.** На озерах Шолак, Султанкельды, Есей и Кокай в пробах почв и донных отложений содержание общей ртути достигало 0,01 мг/кг. (таблица 1).

Поступление ртути в водные объекты допускается через водовыпуск АО «ТЭМК» со сточными водами, источником загрязнения является очистные сооружения и коллектор, подающий сточную воду на очистные сооружения предприятия. Однако собственником очистных сооружений и коллектора является АО «ТЭМК», что затрудняет финансирование государством, вместе с тем ТЭМК сообщает о неспособности финансирования работ по очистке коллектора и реконструкции очистных сооружений и

проявляет готовность к передаче их государству. Решение проблемы: строительство нового коллектора и очистных сооружений, ликвидация либо консервация существующего; исключить сброс сточных вод путем перехода предприятия на оборотные водоснабжения с очисткой сточных вод. К примеру: коагулянты (титановый), сорбционный материал анионит ВП-1АП раствором дихлорантина, а также предусмотреть строительство новых локальных очистных сооружений; построить пруд-накопитель или пруд-испаритель из нескольких карт и очищенную воду использовать в оборотном водоснабжении. Во избежание загрязнения водного объекта осуществить применение мембранной технологии очистки сточных вод. Разработан план мероприятий по устранению источников загрязнения реки Нура ртутью. За счет собственных средств АО «ТЭМК» разработано ПСД «Строительство очистных сооружений», на которую получено положительное заключение государственной экспертизы (Информационный бюллетень, 2017).

Список литературы

Иванов А.Ю., Губина К.А. Ртуть в донных отложениях слабопроточных водоемов юга Томской области // Сборник трудов: Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. – Новосибирск, 2015. – С. 162-165.

Мукашева М.А., Нурлыбаева К.А. Состояние подземных и поверхностных вод Карагандинской Области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2017. - №6-1. - С.88-92.

Информационный бюллетень «О состоянии окружающей среды бассейна реки Нура // Министерство энергетики Республики Казахстан. – Астана. - 2017 г.

Analysis of samples of soils and bottom sediments of the Nura River Basin

***Benz T.V.*[1], *Eskul B.*[2]**

[1]*Karaganda Economic University of Kazpotrebsouz, Karaganda, Republic of Kazakhstan*

[2]*Russian State Hydrometeorological University,Saint-Petersburg, Russia*

benc@bk.ru

Annotation: The main environmental problem in the Karaganda region is the pollution of the Nura River by mercury. Pollution has occurred as a result of production activities of JSC "Carbide" for a long time, which includes acetaldehyde production using mercury salts as a catalyst in the technological cycle. The article analyzes materials on mercury contamination of river bottom sediments, according to the "Information Bulletin of the State of the Environment of the Nura River Basin.

Keywords: Nura River, pollution, mercury, bottom sediments, water resources.

Гидрологические последствия лесозаготовок в различных ландшафтных зонах Сибири

Буренина Т.А., Онучин А.А.
Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
burenina@ksc.krasn.ru

Аннотация: Сравнительный анализ лесоустроительных материалов и гидрометеорологических данных показал, что гидрологические последствия рубок главного пользования определяются фоновыми климатическими параметрами и особенностями лесовосстановления на вырубках. В жестких климатических условиях, когда процессы лесовосстановления затягиваются, на сплошных вырубках усиливается ветровая активность, возрастает зимнее испарение с поверхности снега и снижается сток. По мере зарастания вырубок производными мелколиственными насаждениями усиливаются их снегоаккумулирующие функции, и сток начинает возрастать, превышая значения годового стока на водосборах нетронутых рубкой. В условиях мягких зим, при слабой ветровой активности испарение снеговой влаги на открытых участках по сравнению с лесом существенно ниже. Таким образом в условиях мягких зим лес по сравнению с безлесными угодьями, работает как лучший испаритель

Ключевые слова: гидрологический режим, речной сток, Приангарье, Саяны, лесистость, вырубки.

Введение

Одной из актуальных проблем регионального природопользования в Сибири является то, что интенсивная вырубка лесных массивов неизбежно ведет к утрате лесом роли стабилизирующего биосферного фактора, что отражается на окружающей среде, и, прежде всего, на трансформации гидрологического режима территорий. Освоение лесов рубками главного пользования приводит к уменьшению общей лесистости территории, росту доли молодняков и увеличению площадей, занятых производными мелколиственными насаждениями. Изменение структуры лесного покрова сказывается на соотношении основных элементов водного баланса – суммарного испарения и стока.

При проведении сплошных рубок увеличивается количество осадков, поступающих на поверхность почвы, что приводит к увеличению поверхностного стока. Таким образом, на водосборах, почвенно-растительный комплекс которых претерпевает антропогенные изменения, даже при одинаковых гидро-климатических условиях, меняется генезис формирования стока.

Материалы и методы

Исследования проводились в горно-таежных лесах Саянских гор и зоне южной тайги бассейна р. Ангары. Районы исследований различаются в орографическом отношении, и вследствие своего географического положения, по климатическим и почвенно-растительным условиям. Объектами исследований служили водосборные бассейны северного склона Западного и Восточного Саяна и Приангарья. В работе были использованы материалы из гидрологических ежегодников (Ресурсы поверхностных вод, 1973) и фондовые материалы Росгидромет (meteo. hm2/dh_spravochniki.htm; htpp://meteo.krasnoyarsk.ru/). Основным критерием при выборе рек была длительность рядов наблюдений за стоком, которая составляет от двадцати до шестидесяти лет и включает годы с различной гидро-климатической обстановкой. При формировании базы данных по гидрологическому режиму рек исследуемых регионов было выполнено восстановление пропусков наблюдений за стоком. При обработке данных использовались

стандартные методики воднобалансовых расчетов (Владимиров, 1990). Анализ динамики лесистости выполнялся на основе лесоустроительных материалов (Таксационные описания …, 2001) и с привлечением многоспектральных изображений системы Landsat MSS, TM и ETM+ разных лет с данными в видимом, ближнем и среднем инфракрасном диапазонах (Буренина и др., 2012).

Результаты

Анализ лесоустроительных материалов показал, что за последние десятилетия прошлого века в результате хозяйственного использованием лесов, воздействия пожаров и биотических факторов лесной покров Приангарья претерпел значительную антропогенную трансформацию. В начале шестидесятых годов получили массовое развитие сплошные концентрированные рубки, достигшие к 1990 году объема более 10 млн. м3. Согласно приведенным данным (Соколов и др., 1994) к 1988 году площадь вырубок в Приангарье увеличилась в 2.4 раза по сравнению с 1966 годом. За этот период сплошными рубками было пройдено около 500 тыс. га, в т. ч. было вырублено 350 тыс. га сосновых насаждений. С 1966 по 1988 год площади ежегодных рубок составляли 1-3% от площади водосборов, за исключением некоторых бассейнов, где вырубки иногда достигали 45% водосборной площади (Лебедев и др., 1984). Вследствие того, что основные массивы сосновых лесов в бассейне реки Ангара были пройдены рубками главного пользования еще в 60-х годах, в настоящее время леса Приангарья представляют мозаику лесовосстановительного процесса с пирогенными вариантами молодняков. Коренными сохранились только приречные древостои, а также участки на удалении 100 и более километров от Ангары.

Характерной особенностью хвойных лесов Саянских гор является то, что они формируют отличающийся значительной вертикальной протяженностью темнохвойный пояс, главными лесообразующими породами в котором являются кедр сибирский и пихта сибирская. В результате долговременного проведения лесозаготовок в лесах этого региона структура лесного покрова претерпела значительные изменения: кедровые и кедрово-пихтовые леса сменились производными насаждениями из пихты, осины и березы.

По материалам лесоинвентаризации с 1945 по 1995 год и с привлечением спутниковых изображений с 1974 года были оценены суммарные площади вырубок за пятилетние периоды. Согласно полученным данным максимальные площади вырубленных лесов на северном макросклоне Западного Саяна приходятся на середину пятидесятых годов прошлого столетия. С 1945 по 1965 год ежегодно вырубалось 400-500 га леса в основном в нижнем черневом поясе. После 1965 года площади вырубок сократились до 100 га в год, т.к. к этому времени основные массивы доступных лесов были пройдены рубками главного пользования. К 1985 году года площади лесозаготовок увеличиваются, т.к. благодаря новым технологиям появилась возможность рубить лес на больших высотах и крутых склонах. Увеличение площади вырубок связано с освоением кедрово-пихтовых лесов горно-таежного пояса.

На водосборах, почвенно-растительный комплекс которых претерпевает антропогенные изменения, даже при одинаковых гидро-климатических условиях, меняется генезис формирования стока. Как показали наши исследования, на водосборах рек бассейна р. Ангара эти изменения совпадают с началом масштабных рубок главного пользования, а также со временем формирования производных лиственных молодняков на вырубках (Onuchin at. al., 2006).

Ежегодное снижение стока в течение этого периода оценивается примерно на 0,5-1,3 мм/год. Следовательно, за первые два десятилетия, прошедших с начала освоения приангарских лесов рубками главного пользования, годовой сток рек за счет антропогенных нарушений растительности уменьшился примерно на 10-20 мм.

Следует отметить, что для всех исследованных рек, за исключением Карабулы, начиная с определенного момента, прослеживается тенденция увеличения стока со

временем. Для Тасеевой таким временным рубежом служит 1975 год, для Иркинеевой и Муры – 1984, а для Чадобца -1986 год. Эти временные рубежи неплохо согласуются с началом увеличения площадей производных молодняков на месте сплошных вырубок 50х-60х лет прошлого столетия. По нашему мнению, это связано с незначительным перехватом твердых атмосферных осадков кронами лиственных пород и усилением их снегоаккумулирующих способностей. Подтверждением этому служит также имеющий место синергетический эффект, свидетельствующий об усилении роли твердых атмосферных осадков в формировании стока со временем.

Увеличение стока в связи с усилением снегоаккумулирующих функций производных молодняков по нашим оценкам может достигать 1,5-3 мм/год. Таким образом, за двадцатилетний период с начала возникновения лиственных молодняков, увеличение среднего годового стока рек по сравнению с периодом до начала интенсивных рубок составило от 20 до 40 мм. Такой гидрологический эффект связанный с первоначальным уменьшением стока рек после начала масштабных рубок на водосборах и последующим его увеличением обусловлен спецификой баланса снеговой влаги в условиях континентального климата (Onuchin at. al., 2009).

Изучение динамики стока на разных этапах лесообразовательного процесса на вырубках горной тайги Западного Саяна (Буренина и др., 2011) показало, что в первый год после рубки суммарный сток увеличивается почти в два раза по сравнению со значениями стока в ненарушенных рубками насаждениях. Благодаря интенсивному зарастанию вырубок сток уменьшается и к 30 годам в лиственных молодняках и к 40 годам в пихтовых – выравнивается со значениями стока на контрольных, т.е. не вырубленных участках леса. К 50 годам после рубки в производных насаждениях отмечается уменьшение стока до 60-80% от стока в коренных древостоях (Буренина и др., 2011). Сравнение наших данных с результатами воднобалансовых исследований на вырубках европейской территории России (Крестовский, 1984) показывает общие тенденции изменения стока после проведения рубок в лесах Западного Саяна и ЕТР. Увеличение стока в первые годы после рубки О.И. Крестовский связывает с усилением снегонакопления на вырубках, а последующее снижение стока с ростом эвапотранспирации сомкнутых высокопродуктивных хвойных молодняков, у которых в этот период отмечается пик прироста по запасу.

Для выявления региональных и локальных особенностей гидрологического режима рек Саянской горной области была проанализирована в пространственном и временном аспектах динамика стока основных водотоков исследуемого региона на фоне климатических изменений и лесохозяйственной деятельности на водосборах. Исследования показали, что выявленные тренды годового стока исследуемых рек различаются как по знаку, так и по величине. Из двадцати пяти для семи рек отмечен положительный тренд стока. Наиболее высокие значения коэффициентов характерны для рек, в бассейнах которых в середине двадцатого столетия велись масштабные лесозаготовительные работы. Это бассейны рек Мана и ее притока - реки Мимия на Восточном Саяне и бассейны рек Кебеж и Шадат на Западном Саяне. На реке Мана положительный тренд стока отмечен для всего периода наблюдений, начиная с середины тридцатых годов XX века, но наиболее он выражен за период с середины шестидесятых годов до начала девяностых. Средний декадный сток за 1986–1995 гг. увеличился на 40 мм по сравнению со средним стоком за 1967–1976 гг. Аналогичные тенденции динамики стока проявляются на реках Кебеж и Шадат, но более значимое увеличение коэффициентов линейных трендов стока происходит с 60-х годов прошлого столетия до середины 90-х годов. За тридцать лет сток на реке Шадат увеличился почти на 100 мм (Буренина и др., 2018).

Чтобы проследить влияние свежих вырубок на сток и исключить влияние осадков, мы провели сравнительный анализ динамики коэффициента стока (отношение стока к осадкам) с динамикой площадей свежих вырубок по пятилетиям (суммировались вырубки от 1 до 5 лет). Согласно графику (рис. 1) максимальные значения коэффициента стока на реке Кебеж в периоды 1954–59, 1969–73 и 1984–1993 гг. совпадают с увеличением вырубаемых площадей. В эти периоды ежегодно вырубалось от 2 до 3% от водосборной площади горной части бассейна реки Кебеж.

Несмотря на некоторые общие тенденции линий коэффициента стока и суммарной площади вырубок по пятилетиям тесной корреляционной связи между этими двумя величинами не наблюдается. Согласно графику (рис. 1) к 2002 году площади вырубок резко снижаются, коэффициент стока остается достаточно высоким – 0.5. Это указывает на то, на вырубках предыдущих лет водорегулирующие функции восстановились не полностью. Согласно нашим данным сток в лиственных молодняках на 10-20%, а в пихтовых молодняках и жердняках– на 30-40% выше, чем в ненарушенных рубками кедрово-пихтовых насаждениях. Полного восстановления структуры водного баланса на вырубках в темнохвойных лесах Западного Саяна не происходит даже через 50-60 лет (Буренина и др., 2012), но в результате того, что леса в горно-таежном поясе рубили не так интенсивно, сток реки Кебеж характеризуется относительной стабильностью.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно констатировать, что тенденции изменения гидрологического режима исследуемой территории зависят не только от климатических изменений, но в значительной степени определяются лесохозяйственной деятельностью на речных водосборах. Рубки леса и характер последующих лесовосстановительных сукцессий влияют на изменение структуры водного баланса (Burenina et al., 2012; Буренина, Мусохранова, 2014). Сопоставление динамики площади нарушенных рубками коренных лесов в бассейнах рек Мана, Кебеж и Шадат с трендами стока этих рек показывает, что антропогенная трансформация лесной растительности под влиянием рубок «работает» на снижение испарения на водосборе и увеличение стока.

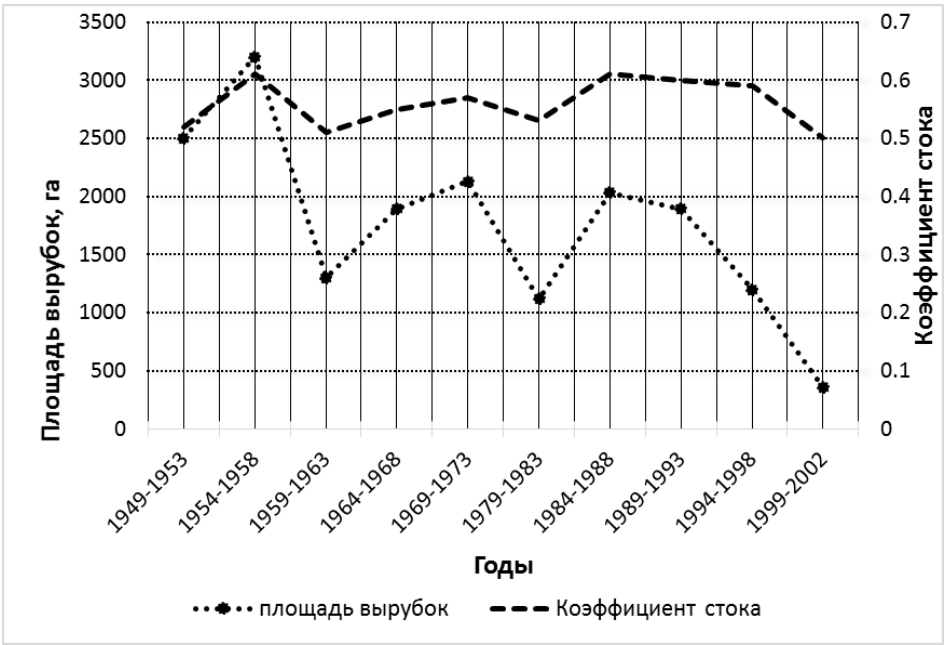


Рис. 1. Изменение коэффициента стока (отношение стока к сумме осадков) и динамика вырубок 1-5-летнего возраста в бассейне реки Кебеж.

Выводы

На вырубках с более мягким климатом наблюдается увеличение стока за счет того, что на вырубке выпадают некоторые расходные составляющие водного баланса: перехват осадков древесным пологом, транспирация древостоя. Зимнее испарение с поверхности снежного покрова на открытых участках и в лесу различаются незначительно, т.е. увеличение стока происходит за счет усиления снегонакопления на вырубках. Последующее снижение стока связано с ростом эвапотранспирации сомкнутых высокопродуктивных молодняков.

В континентальных условиях Сибири при относительно невысокой зимней влажности воздуха в более суровых лесорастительных условиях, когда затягиваются процессы естественного возобновления на вырубках, свою специфику приобретает и трансформация гидрологического режима территорий. В первые годы после сплошных рубок на обширных открытых участках возрастает ветровая деятельность, что служит причиной активизации метелей, усиления испарения снега и уменьшения снегозапасов. При равных фоновых климатических условиях это приводит к снижению годового стока с водосборов, пройденных рубками. Затем по мере восстановления древесной растительности, особенно если она проходит через смену пород, восстанавливаются и даже усиливаются снегоаккумулирующие функции насаждений, увеличивается и русловой сток с вырубленных водосборов.

Опыт оценки гидрологических последствий рубок главного пользования в условиях Сибири свидетельствует о том, что гидрологический эффект, обусловленный характером использования земель на водосборах, может проявляться как в увеличении, так и в уменьшении стока рек в зависимости от структуры лесного покрова и фоновых климатических условий.

Полученные результаты подтверждают состоятельность концепции географически детерминированной гидрологической роли лесов (Онучин, 2015) которая утверждает, что в условиях суровых зим, лес «работает» как накопитель влаги и является фактором увеличения стока рек, а в условиях мягких зим наоборот лес по сравнению с безлесными угодьями, работает как лучший испаритель.

Список литературы

Буренина Т.А., Овчинникова Н.Ф., Федотова Е.В. Изменение структуры водного баланса на вырубках черневого пояса Западного Саяна. География и природные ресурсы, 2011, № 1, с. 92-100.

Буренина Т.А., Федотова Е.В., Овчинникова Н.Ф. Изменение структуры влагооборота в связи с возрастной и восстановительной динамикой лесных экосистем. Сибирский экологический журнал, 2012, № 3, с. 435-445.

Буренина Т.А., Прысов Д. А., Федотова Е. В. Влияние климатических и антропогенных факторов на гидрологический режим рек юга Красноярского края. Сибирский лесной журнал, 2018 (в печати).

Владимиров А. М. Гидрологические расчеты: учебник для вузов по специальности «Гидрология суши». Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 364 с.

Крестовский О.И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек подзон южной и средней тайги ЕТС. Водные ресурсы, 1984, № 5, с. 125-135.

Лебедев А.В., Спиридонов Б.С., Морева А.С., Шараева О.А. Прогноз изменения гидрологических параметров некоторых водосборов в связи с лесозаготовками. Трансформация лесными экосистемами факторов окружающей среды. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1984, с. 9-17.

Онучин А.А. Причины концептуальных противоречий в оценке гидрологической роли бореальных лесов. Сибирский лесной журнал, 2015, № 2, с. 41-54.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Ангаро-Енисейский район. Вып. 1. Енисей / под ред. А. П. Муранова. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 724 с.

Таксационные описания. Богучанский лесхоз, Ермаковский лесхоз, Каратузский лесхоз. Федеральное государственное унитарное предприятие «Восточно-Сибирское государственное лесоустроительное предприятие». Красноярск, 2001.

Onuchin, A., Balster, H., Borisova, H., and Blitz, E.: Climatic and geographic patterns of river runoff formation in Northern Eurasia, in: Advances in Water Resources, 2006, 29 (9), pp. 1314–1327.

Onuchin A., Burenina T., Gaparov K., Ziryukina N. Land use impacts on river hydrological regimes in Northern Asia. Hydroinformatics in hydrology, hydrogeology and water resources. Hyderabad, India, 2009, pp. 163–170.

meteo.hm2/dh_spravochniki.htm

htpp://meteo.krasnoyarsk.ru/

The hydrological consequences of logging in various landscape zones of Siberia

Burenina T.A.*, *Onuchin A.A.

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS

burenina@ksc.krasn.ru

Abstract: A comparative analysis of forest inventory and hydro meteorological data has shown that the background climatic parameters and the features of reforestation determine the hydrological consequences of the felling. In severe climatic conditions, when reforestation is delayed, winter evaporation from the surface of snow increases and the runoff decreases. As felling are restored by secondary deciduous forest, the snow accumulating functions of these sites increase, and runoff begins to increase. In conditions of mild winters, with a weak wind activity, the evaporation of snow moisture in open sites is much lower compared to the forest sites. Thus, in conditions of soft winters, the forest, in comparison with the forestless land, operates as the best evaporator.

Keywords: hydrological regime, river runoff, Angara, Sayan Mountains, forest cover, felling.

Риск-ориентированный подход в системе регулирования негативного воздействия на окружающую среду. Международный опыт

***Веницианов Е.В.*[1], *Аджиенко Г.В.*[1], *Лепихин А.П.*[2]**
[1]*ФГБУН Институт водных проблем РАН*
[2]*Горный институт УроРАН*
eugeny.venitsianov@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрен российский и международный опыт риск-ориентированного регулирования в природоохранном законодательстве развитых стран. Приведены способы реализации риск-ориентированного подхода при планировании контрольно-надзорной деятельности, выдачи экологических разрешений и регулировании рынков химических веществ.

Ключевые слова: оценка рисков, природоохранное законодательство, регулирование воздействия, разрешения, рынок химических веществ, охрана окружающей среды

Введение

В настоящее время в природоохранном регулировании Российской Федерации используется принятый еще в СССР (Черкинский С.Н.) принцип «нулевого риска», который положен в основу разработки систем предельно допустимых концентраций (ПДК). ПДК максимальная концентрация химических элементов и их соединений в окружающей среде (ОС), которая при повседневном влиянии на организм человека в течение длительного периода времени не вызывает патологических изменений или заболеваний. ПДК по существу является индикаторным показателем, однако в СССР и далее в Российской Федерации стал основным инструментом регулирования поступлений загрязняющих веществ в окружающую среду, одновременно выполняя функции нормативов качества окружающей среды. Последние так и не были разработаны, несмотря на наличие понятия «норматив качества ОС» в к нормированию, установленном в федеральном законе «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ.

В мировой практике подход к природоохранному регулированию на основании нормирования воздействия, в т.ч. с использованием подхода ПДК, получил название опасность-ориентированного подхода. При несоблюдении установленных нормативов качества ОС, повлекшее за собой превышение отдельных физико-химических параметров в зоне воздействия, природопользователь обязан устранить причины превышения таких нормативов, компенсировать ущерб и ликвидировать последствия негативного воздействия, обеспечив соответствие параметров ОС нормативам качества. В свою очередь, в природоохранном законодательстве развитых стран, в частности в Европейском союзе, уже более двадцати лет во многих сферах регулирования происходит переход от опасность-ориентированного к риск-ориентированному подходу. Риск-ориентированный подход к природоохранному регулированию в развитых страна реализуется через:

- систему требований к выдаче разрешений на осуществление хозяйственной деятельности для объектов негативного воздействия;
- систему контрольно-надзорной деятельности природоохранных органов исполнительных власти, при планировании и осуществлении проверок;
- систему регулирования рынка производителей и экспортеров химической продукции.

Риск-ориентированный подход в контрольно-надзорной деятельности

В ряде европейских стран механизмы РОП внедрены в регулирование контрольно-надзорной деятельности. При таком подходе степень регуляторного контроля

определяется на основании текущего статуса соответствия объектов негативного воздействия, действующего законодательства, с учетом оценки производственных рисков. В странах ЕС такая оценка проводится на основании методологии по пяти группам риск-факторов в применении к объектам негативного воздействия:

- **сложность объекта воздействия**: оценка вероятности существенного воздействия на одну или несколько сред (воздух, почва, вода); использование одного или нескольких отдельных, но взаимосвязанных технических процессов; вероятность аварийных выбросов/сбросов; наличие в обращении потенциально опасных веществ; масштаб воздействия; необходимость существенного вовлечения регуляторных органов для оценки и поддержания соответствия законодательству и общественного доверия;
- **входные и выходные потоки:** состав и объем поступлений загрязняющих веществ, включая нормативы допустимых сбросов и выбросов; среда, подверженная воздействию (воздух, вода, почвы); объем образования отходов; воздействие веществ на среду поступления.
- **местоположение:** близость к территории проживания населения; близость к особо охраняемым и иным природным территориям; чувствительность объектов приема сбросов сточных вод; вероятность сбросов неочищенных сточных вод в водную среду и наличие мер контроля; вероятность подтопления; расположение в границах зон, где качество атмосферного воздуха не соответствует целевым показателям.
- **система менеджмента предприятия и ее результативность:** наличие или отсутствие системы менеджмента устанавливающей подходы к управлению негативным воздействием, обслуживанию технического оборудования и др.; компетентность персонала, регулярность и полнота обучения, наличие процедур мониторинга, аудита и оценки; наличие планов действий в чрезвычайных ситуациях.
- **степень соответствия нормативно-правовым требованиям**. Субъекты хозяйственной деятельности заполняют опросный лист по каждому из объектов негативного воздействия, находящегося в собственности. Учитывается историческая стастистика нарушений законодательных требований.

Группы рисков, присущих конкретному виду деятельности определяются на основании специальных справочных таблиц. Каждая из групп связана с количественным уровнем риска. Совокупность уровней риска позволяет при помощи схемы оценки выявить итоговый уровень риска для конкретного предприятия и установить соответствующую величину платы для предприятия и издержек регулирующего органа на осуществление надзорной деятельности (Risk and Regulatory Policy).

Риск-ориентированный подход в системах природоохранных разрешений

В большинстве развитых стран РОП применяется при выдаче экологических разрешений на сбросы сточных вод и водопользование. Ответственным органом за реализацию РОП в этих странах являются органы исполнительной власти, в основном – Агентства по охране окружающей среды. Такие Агентства обычно проводят ряд универсальных оценок рисков, на основе которых разрабатываются стандартные правила для определенных видов деятельности. Такие правила включают в себя потенциальные риски и способы управления ими.

Так, в Великобритании процедуры универсальной оценки рисков проводят для регламентированного перечня проектов, например, для стандартных сооружений биологической очистки сточных вод. В случае, если природопользователь планирует деятельность, в отношении которой была проведена универсальная оценка рисков и разработаны стандартные меры их минимизации, он не обязан проводить собственную оценку рисков для получения разрешения. В случае, если природопользователь планирует деятельность, не охваченную стандартными правилами, он должен проводить оценку рисков самостоятельно (Standard rules: environmental permitting by Environment Agency UK). Оценка рисков проводится в шесть этапов (Risk assessments for your environmental permit. Guidance):

1. Определение и анализ рисков и источников рисков от объекта деятельности. Разрабатывается профиль по каждому риску, включающий вид опасности (например, сточные воды), рецепторы рисков, пути воздействия риска, мероприятия по снижению риска, вероятность и последствия реализации риска, уровень риска с учетом корректирующего мероприятия. Также оцениваются причины и опасные события, которые могут произойти в случае реализации риска. Например, вспухание активного ила в блоке сооружений биологической очистки может привести к аварийному сбросу неочищенных сточных вод в водоем.

2. Определение реципиентов, на которые воздействуют риски от рассматриваемой деятельности. Разрабатывается карта-схема, на которой указывается объект хозяйственной деятельности и все риск-реципиенты в контуре воздействия. В учет должно приниматься близость особо охраняемых природных территорий и памятников культурного наследия. Например, в случае оценки воздействия сбросов сточных вод указываются все представители экосистемы водоема, на которые может быть оказано воздействие.

3. Определение возможных путей воздействия источников риска на реципиентов. Определяются пути воздействия: ингаляционный, дермальный, через желудочно-кишечный тракт.

4. Оценка рисков, относящихся к характеру рассматриваемой деятельности, проверка их приемлемости и уровня контроля. Производится оценка рисков загрязнения подземных вод, поверхностных вод опасными веществами и биогенными элементами, и иными загрязняющими веществами. Оцениваются существующие меры контроля рисков и их эффективность, рассчитывается остаточный риск и дается оценки его приемлемости.

5. Разработка системы управления рисками и плана мероприятий по контролю рисков. Уровень системы управления рисками определяется степенью значимости выявленных рисков. Система должна включать инфраструктурный план; описание всех видов операций на объекте; план технического обслуживания и ремонта оборудования; план реагирования на чрезвычайные ситуации; план управления развитием персонала и повышения компетенций; план вывода объекта из эксплуатации; проведение общественных слушаний.

6. Включение оценки риска в состав документации к заявке на получение разрешения. При этом Агентство по ООС может самостоятельно провести оценку рисков для природопользователя в двух случаях: а) если природопользователь ведет сельскохозяйственную деятельность и сбрасывает определенные загрязняющие вещества на рельеф; б) если осуществляется сброс коммунально-бытовых сточных вод в поверхностные водные объекты или на рельеф (в зависимости от объема сброса и чувствительности экосистемы).

Риск-ориентированный подход в регулировании рынков химических веществ

Риск-ориентированные системы регулирования рынков химической продукции действуют в развитых странах (ЕС, США, Канаде, Швейцарии, Южной Корее, Китае и др.). Большинство таких систем базируются на подходе REACH, действующем в Европейском союзе.

В 2007 г. Европейская Комиссия утвердила систему регулирования производства, размещения на рынке и использования химических веществ, получившую название REACH (Краткий обзор нового Регламента ЕС …). Система нацелена на контроль за оборотом химических веществ и минимизацию вреда от их использования на здоровье человека и ОС. Контроль за выполнением закона осуществляет специально учрежденное ведомство – Европейское Химическое Агентство (ЕХА). Одним из основных требований REACH является возложение ответственности за оценку рисков и опасности химических веществ на производителей и поставщиков. Они обязаны провести оценку безопасности для здоровья человека и ОС (в т.ч. водные объекты) химических веществ, которые поставляют на рынки стран ЕС в составе продукции или в чистом виде, в случае если их количество больше одной тонны.

Подход к оценке экологической безопасности вещества включает (Guidance in a Nutshell) оценку опасности, оценку воздействия и характеристику риска. На основании результатов такой оценки определяется необходимость разработки дополнительных мер контроля для снижения рисков.

Оценка проводится на основании набора первичных данных о физико-химических и токсикологических свойствах вещества, миграционном цикле в ОС и его экологической опасности, а также информации об основных направлениях и условиях использования исследуемого вещества. Для проведения оценки должны быть определены все стадии жизненного цикла (ЖЦ) вещества, что позволяет установить границы проведения оценки рисков.

Оценка экологического риска проводится последовательно в три этапа. На первом этапе определяются условия использования вещества и оцениваются существующие меры по снижению риска, такие как наличие сооружений очистки сточных вод и др. На втором этапе производится оценка объемов поступлений вещества в ОС (в составе выбросов, сбросов, поверхностного стока, отходов) на региональном и локальном уровнях для каждого способа использования вещества с учетом эффективности существующих мер снижения риска. На третьем этапе осуществляется оценка распределения вещества между компонентами ОС: атмосферным воздухом, водной средой, осадком, почвой. Проводится оценка трансформации в ОС (биотическая/абиотическая деградация, аккумуляция) и воздействия на биообъекты.

Основой оценки экологического риска является оценка степени воздействия вещества на биообъекты. Степень воздействия рассчитывается как отношение прогнозируемой концентрации вещества в ОС (PEC) к прогнозируемой безопасной концентрации вещества (PNEC) в ОС. Если PEC рассчитывается на основании теоретических данных, то PNEC определяется в ходе лабораторных тестов на биообъектах трех трофических уровней для определения воздействия при миграции вещества в пищевой цепи. Объекты оценки выбираются экспертным путем в зависимости от особенностей вещества и его миграционного цикла. По итогам оценки степень риска исследуемого вещества для каждого из компонентов окружающей среды определяются по следующим критериям (Meriз S.):

- **PEC/PNEC ≤ 0,1** – риск для окружающей среды является несущественным;
- **0,1 <PEC/PNEC ≤ 1** – риск для окружающей среды является низким;
- **1 <PEC/PNEC ≤ 10** – риск для окружающей среды является средним;
- **PEC/PNEC> 10** – риск для окружающей среды является высоким.

В случае, если установленный уровень риска указывает на неэффективность мер снижения риска и условий использования вещества для обеспечения надлежащего контроля на уровне производителя и цепочки использования, необходимо проводить повторную оценку с уточнением информации, использованной для расчета, например, с более подробными данными о свойствах вещества и его воздействии при проведении лабораторных тестов.

В настоящий момент, на территории Европейского союза в обороте находится более 100 тыс. химических веществ, из которых 13 428 зарегистрированы и прошли оценку риска (General Report 2015), 1,5 тыс. веществ вызывают высокую озабоченность с точки зрения безопасности, 168 веществ находятся в Перечне веществ-кандидатов. Более 520 химических веществ запрещены или значимо ограничены в доступе на рынок стран ЕС (соединения мышьяка, кадмия, свинца, бромированные бифенилы, нонилфенолы и др.).

Согласно оценкам Европейского химического агентства, уже в первые пять лет REACH позволил значимо снизить количество рисков, связанных с оборотом химических веществ на рынке стран ЕС. С момента введения REACH на 11,5% (19 млн т) сократился объем производства опасных вещества, в частности на 10% (5 млн т) сократился объем производства веществ, представляющих серьезную хроническую токсическую опасность.

Внедрение REACH обошлось производителям Евросоюза по разным оценкам в €2-7 млрд, в первую очередь за счет затрат на тестирование и процедуру регистрации

химических веществ. Несмотря на размер суммы, она оказывается незначимой при сопоставлении с прибылью химической промышленности ЕС в течение одиннадцатилетнего периода внедрения REACH – не более 0,0006%. При этом суммарная экономическая выгода от внедрения REACH по разным оценкам составляет €10,8 – 47 млрд в год. В частности, законодательство REACH позволило снизить затраты на водоподготовку, размещение осадков сточных вод и загрязненных грунтов на €3,4 – 10,9 млрд/год.

Выводы

Успешный опыт развитых стран показывает эффективность риск-ориентированного контроля в системе природоохранного регулирования негативного воздействия на ОС. Проведение оценки воздействия на окружающую среду химических веществ в составе сбросов, выбросов и отходов позволяет оценить краткосрочные и долгосрочные эффекты для экосистем, даже в случае воздействий в пределах ПДК. Риск-ориентированный подход в системе выдачи природоохранных разрешений позволяет сфокусировать регуляторную функцию как на объектах, оказывающих наиболее существенное негативное воздействие на ОС, так и на объектах, имеющих значимый потенциал такого воздействия.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-00842

Список литературы

Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. М.: Изд-во МКХ РСФСР,1947. 171 с.

Standard rules: environmental permitting by Environment Agency UK, from: https://www.gov.uk/government/collections/standard-rules-environmental-permitting

Risk assessments for your environmental permit. Guidance. Department for Environment, Food & Rural Affairs and Environment Agency, England, 2016, from: https://www.gov.uk/guidance/risk-assessments-for-your-environmental-permit

Guidance in a Nutshell. Chemical Safety Assessment. European Chemicals Agency, 2009. P. 22.

Meriз S. Environmental Risk Assessment of 20 Human Use Antibiotics in Surface Water and Urban Wastewater/ S. Meriз, F. Ekmekyapar, G. Varol // Jacobs Journal of Civil Engineering. 2015, V. 1(1): 007. P. 6.

Risk-based approach in environmental regulation systems

***Venitsianov E. V.*[1], *Ageenko G. V.*[1], *Lepikhin A. P.*[2]**

[1]*Institute of water problems of RAS*

[2]*Mining Institute, Urals branch of RAS*

eugeny.venitsianov@gmail.com

Abstract: The article deals with the problems of regulation of water protection activities on the basis of risk-based approach. The scientific basis of approaches and existing Russian and international experience are analyzed. The ways of implementation of the risk-based approach in the planning of control and supervision activities, the issuance of environmental permits and regulation of chemical markets.

Keyword: risk assessment, environmental legislation, exposure control, permits, chemicals market, environmental protection

Оценка трофического статуса рек Оки и Волги в зоне их смешения

Вилимович Е.А.*, *Терешина М.А.*, *Ерина О.Н.*, *Колий В.М.*, *Соколов Д.И.
МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва
alenka@mail.ru

Аннотация: В настоящей работе представлена характеристика экологического состояния Оки и Волги и определен их трофический статус по данным, полученным в результате четырех рейсов экспедиции «Плавучий университет Волжского бассейна». Исследования проводились летом и осенью 2017 года и включали в себя изучение распределения гидрологических и гидрохимических характеристик водных масс данных рек, их внутрисезонную изменчивость, а также оценку их трофности по величине хлорофилла «а».

Благодаря этим исследованиям были обнаружены существенные различия в гидроэкологических условиях этих рек. Волжские воды ниже плотины Горьковского водохранилища до устья Оки относятся к мезотрофному типу, характеризуются продольной однородностью содержания биогенных элементов и хлорофилла «а». Вследствие более низкого содержания соединений азота и фосфора, которые задерживаются и потребляются в верхнем бьефе Горьковского водохранилища, волжские воды в нижнем бьефе характеризуются низкой интенсивностью фотосинтеза даже в антициклональных условиях. Воды Оки на устьевом участке отличаются высоким содержанием биогенных веществ, более низкими скоростями течения, и как следствие, высоким содержанием фотосинтетических пигментов. Трофический статус Оки оценивается как эвтрофный, а в периоды установления жаркой и безветренной погоды – как политрофный.

Было выявлено, что в Чебоксарском водохранилище, которое, в отличие от Горьковского водохранилища, формируется не только волжскими, но и окскими водами, на протяжении 30 километров наблюдаются две водные массы – правобережная представлена окской водой, левобережная – волжской. Эти водные массы значительно различаются по электропроводности, содержанию растворенного кислорода и биогенных веществ и концентрации хлорофилла «а».

Ключевые слова: Ока, Волга, хлорофилл, фитопланктон, трофический статус, эвтрофирование

Введение

Волга и самый большой её правый приток – Ока – важнейшие водные артерии Европейской части России, в бассейне этих рек проживает более трети населения страны. В течение долгого времени их вода использовалась для самых различных целей, в том числе водоснабжения, сброса сточных вод, в промышленности и сельском хозяйстве. Зарегулирование русла Волги каскадом водохранилищ привело к трансформации не только водного режима, но и качества воды в ней. Замедление скоростей течения стало причиной в том числе и активизации процессов цветения водорослей в водохранилищах. Среди Волжских водохранилищ наиболее напряженным экологическим состоянием характеризуются Горьковское и Чебоксарское водохранилища. Русло Оки зарегулировано лишь несколькими низконапорными гидроузлами, однако водосбор реки очень плотно заселен. Природные условия водосборов приводят к различиям в химическом составе: так, волжские воды характеризуются повышенной цветностью, обусловленной присутствием большого количества органических веществ.

Природные особенности формирования качества воды, в сочетании с антропогенной нагрузкой и различным водным режимом приводит к существенным различиям и в гидроэкологических условиях рек, и как следствие – в их трофности. При этом при изучении эвтрофирования Волжского бассейна в литературе основное внимание уделяется Волге и ее водохранилищам, тогда как публикации, посвященные продукционным условиям и определяющим факторам непосредственно р. Оки весьма малочисленны.

Материалы и методы

Данные о гидрологических и гидрохимиечских условиях рек, а также о содержании в них фотосинтетических пигментов были получены во время четырёх рейсов экспедиции «Плавучий университет Волжского бассейна» – с 7 по 9 июля, с 28 по 30 июля, с 18 по 20 августа и с 21 по 24 сентября 2017 года. Во время первого и третьего рейсов была обследована р. Волга на участке от Горьковского гидроузла до створа Чкаловской лестницы ниже впадения р. Оки, а во время второго и четвертого выездов исследовались водные массы в речной части Чебоксарского водохранилища протяженностью более 30 км, от устья Оки до створа Макарьевского монастыря. Для характеристики водных масс Волги и Оки во время этих выездов измерения проводились у разных берегов. Непосредственно в р. Оке пробы отбирались в створах Канавинского и Молитовского мостов в г. Нижний Новгород.

В состав полевых работ входило измерение вертикальных профилей температуры, электропроводности, содержания растворенного кислорода, величины pH, определение прозрачности воды и отбор проб для проведения дальнейших лабораторных исследований. Суммарно для обеих рек за 4 рейса было отобрано и проанализировано 45 проб воды, в которых было определено содержание минерального и валового фосфора, хлорофилла a, минерального кремния, нитратов и основных ионов, что позволило подробно рассмотреть абиотические факторы продукционных условий водных объектов.

Трофический статус рек определялся согласно классификации Китаева по величине хлорофилла «a» (Китаев, 2007).

Результаты

Воды рек Оки и Волги в нижнем бьефе Горьковского водохранилища и устьевого участка р. Оки сильно различаются по содержанию биогенных элементов и концентрации хлорофилла «a». Река Волга характеризуется достаточно однородным распределением гидроэкологических показателей, а окские воды характеризуются более высокими концентрациями биогенных элементов, что приводит к более интенсивному развитию фитопланктона: концентрации хлорофилла в окских водах в несколько раз выше, чем в волжских.

По данным июльских и сентябрьского выездов р. Волга характеризовалась вдвое меньшим содержанием нитратов по сравнению с Окой (рис. 1). В середине августа большая часть нитратов была потреблена фитопланктоном, что сказалось не только на р. Оке, но и на р. Волге. Ввиду сильного «цветения» воды синезелеными водорослями в приплотинном плесе Горьковского водохранилища, в нижний бьеф гидроузла в августе поступала вода с крайне низким содержанием нитратов (ниже пределов обнаружения используемыми методиками). При этом даже в период цветения водорослей в Горьковском водохранилище в р. Волге в нижнем бьефе цветения не наблюдалось, содержание хлорофилла составляло менее 10 мкг/л. По всей видимости, это связано с интенсивным динамическим перемешиванием воды в нижнем бьефе, который мешает развитию водорослей.

Содержание минерального фосфора в р. Волге постепенно увеличивалось от июля к августу (0,048, 0,055 и 0,061 мг/л). В р. Оке при этом наблюдались концентрации

фосфатов в 2 и более раз выше по сравнению с Волжской водой (от 0,080 мг/л в июле до 0,140 мг/л в августе и сентябре). чем в водах Волги. Более высокое содержание биогенных элементов и меньшие скорости течения в р.Оке по сравнению с Волгой в нижнем бьефе Горьковского гидроузла обусловило и более высокие концентрации фотосинтетических пигментов в воде, сохранявшиеся даже при циклоническом типе погоды. Если концентрация хлорофилла в волжских водах не превышала 10 мг/м^3, то в Оке к концу августа она достигала 90 мг/м^3.

При слиянии Оки и Волги контраст в показателях их водных масс становится особенно заметен. На приведенных графиках (рис. 1) показаны результаты анализов проб воды с трех выездов, отобранных в створе Чкаловской лестницы г. Нижний Новгород: левобережные воды представлены волжским потоком, правобережные – окским. Помимо внутрисезонной изменчивости, обусловленной гидрометеорологическими характеристиками, можно видеть, насколько в течение лета различаются воды Оки и Волги по содержанию биогенных веществ и фотосинтетических пигментов. Так, можно видеть, что содержание хлорофилла в окском потоке в несколько раз выше, чем в волжском. При этом заметно, что в периоды увеличения содержания хлорофилла а в результате развития водорослей растет и содержание органического фосфора.

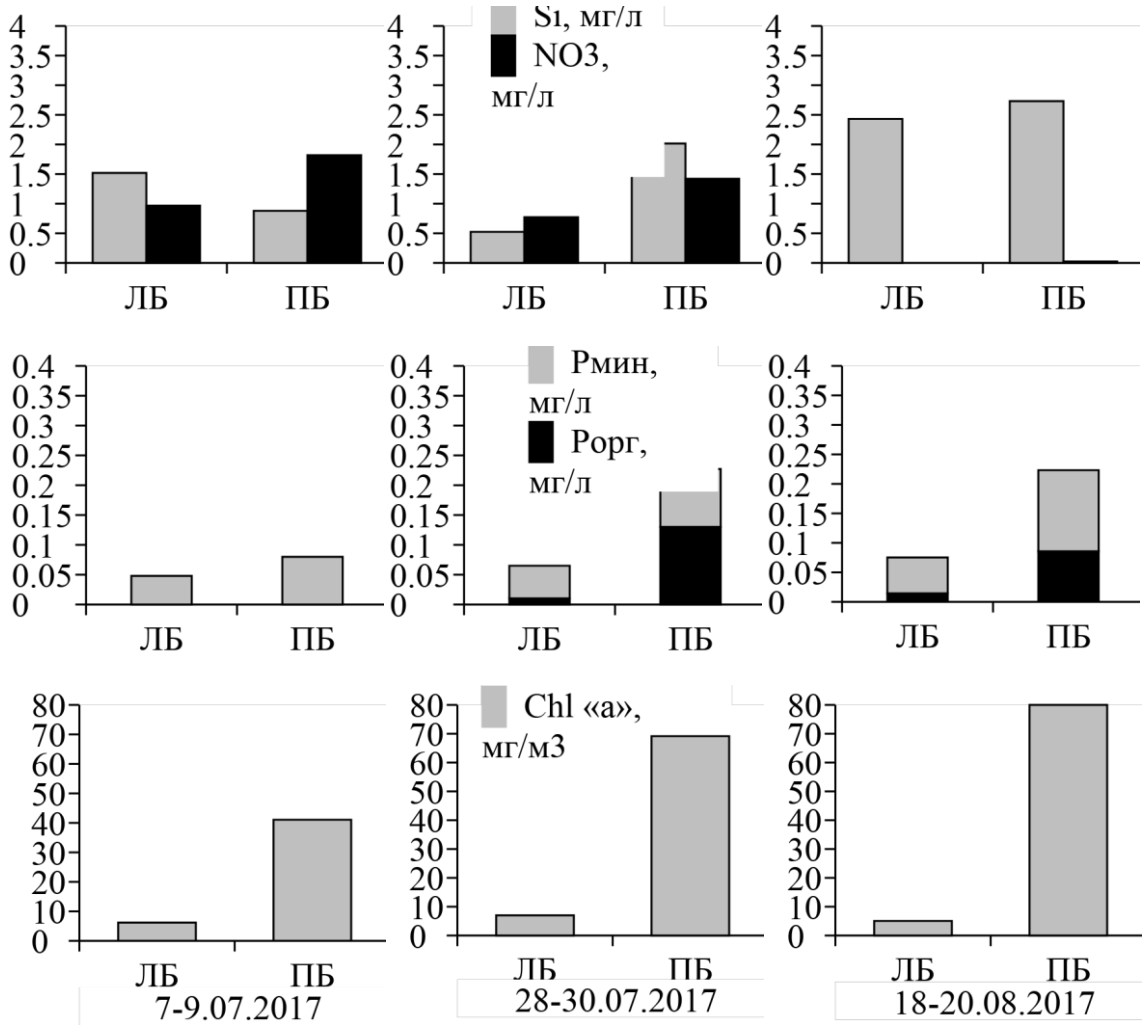


Рис. 1. Содержание кремния (Si, мг/л) и нитратов (NO_3, мг/л); органического и минерального фосфора (в мг/л); хлорофилла «а» (Chl «а», мг/м^3) в Чебоксарском водохранилище в створе Чкаловской лестницы г. Нижний Новгород в июле и августе 2017 года

Табл. 1. Трофический статус рек Волги и Оки по результатам экспедиции «Плавучий университет Волжского бассейна» 2017 г

Рейс	Волга (выше устья р.Ока)	Волга (ниже устья р.Ока), левый берег	Волга (ниже устья р.Ока), правый берег	р.Ока
07-09.07.2017	α-мезотрофный	β-мезотрофный	β-эвтрофный	β-эвтрофный
28-30.07.2017	-	β-мезотрофный	Политрофный	Политрофный
18-20.08.2017	α-мезотрофный	β-мезотрофный	Политрофный	Политрофный
21-24.09.2017	-	α-мезотрофный	β-эвтрофный	Политрофный

Оценка трофического статуса рек согласно классификации С.П. Китаева (Китаев, 2007) показала что вода в р. Волге по результатам всех четырех выездов относится к β-мезотрофному типу (содержание хлорофилла «а» составляет 6–12 мг/м^3), в то время как Оку по данным первого выезда можно отнести к β-эвтрофному типу (24–48 мг/м^3), а по результатам третьего – уже к политрофному (>48 мг/м^3) (табл.1).

Выводы

В результате подробных исследований получено, что водные массы рек Волги и Оки на рассматриваемом участке существенно различаются по содержанию биогенных элементов, и, как следствие – по уровню фотосинтетической активности. Более высокое содержание соединений минерального фосфора и нитратов в сочетании с меньшими скоростями течения в устьевом участке р. Оки приводит к заметному развитию водорослей даже в периоды с неблагоприятными погодными условиями. По классификации С.П. Китаева Волга относится к β-мезотрофному типу, Ока – к β-эвтрофному типу и даже к политрофному. В речной части Чебоксарского водохранилища Волжская и Окская водные массы не смешиваются полностью и продолжают различаться по содержанию как биогенных элементов, так и фотосинтетических пигментов.

Полученные результаты позволяют рассматривать Оку как один из важнейших источников биогенного загрязнения Чебоксарского водохранилища, и как следствие, его эвтрофирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» (РГО) в рамках грантового проекта «Экспедиция «Плавучий университет Волжского бассейна».

Список литературы

Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск. 2007. 395 с.

Trophic state of Oka and Volga rivers at the confluence

Vilimovich E.A., Tereshina M.A., Erina O., Kolii V.M., Sokolov D.I.
Moscow State University, Moscow
alenka@mail.ru

Abstract: Presented in this article is the description of the ecological state of the rivers Oka and Volga and their trophic states based on data obtained in four voyages of the "Floating University of the Volga Basin" expedition. The study was conducted during summer and fall of 2017 and included examination of the distribution and intraseasonal variability of hydrological and hydrochemical characteristics in those rivers, and analysis of their trophic state based on chlorophyll-a concentration.

During these investigations a significant difference between hydrochemical composition of the two rivers was found. Volga waters downstream from Gorky dam to the confluence with the Oka river are mesotrophic and homogenous in nutrients and chlorophyll-a content through the river's length. Due to lowered content of nitrogen and phosphorus compounds after their consumption and retention in the Gorky reservoir, Volga waters downstream from the dam have low photosynthetic activity levels even in anticyclone conditions. Oka river before the confluence has high nutrient levels and lower stream velocity, which leads to high content of photosynthetic pigments. Trophic state of Oka waters is euthrophic, reaching hypertrophic in hot and still weather.

It was found that in the Cheboksary reservoir, which unlike the Gorky reservoir has not just Volga but also Oka waters flowing in, has two distinctive water masses observable for 30 kilometers – Oka waters in the right-bank side and Volga waters in the left-bank side. These waters are significantly different in electrical conductivity, dissolved oxygen content and nutrients and chlorophyll-a concentration.

Keywords: Oka, Volga, chlorophyll, phytoplankton, trophic state, eutrophication

Новые данные о химическом составе болотных вод на примере олиготрофного болотного массива Ламмин-суо

Волкова Д.Д.*, *Потапова Т.М.
Санкт-Петербургский государственный университет
dvolkova1996@mail.ru

Аннотация: В статье приведены новые данные о химическом составе вод болотного массива Ламмин-суо, расположенного на территории Ленинградской области. Выявлены особенности пространственной изменчивости гидрохимических показателей в различных частях болота. По данным многолетних исследований установлены фоновые гидрохимические характеристики, которые могут быть распространены на верховые болота других регионов России.

Ключевые слова: гидрохимический фон, верховые болота, кислая реакция среды, общая минерализация.

Введение

В Российской Федерации болота занимают более 8% ее территории, а вместе с заболоченными землями – почти 22%. Только исследованных болотных массивов в Российской Федерации более 60 тысяч, на их долю приходится более половины мировой площади болот, и они содержат в себе более трети мировых запасов торфа. В связи с большой контрастностью физико-географических условий по территории Российской Федерации наблюдается большое разнообразие типов болот, их разная степень облесенности. Болота являются источниками питания, регуляторами гидрологического режима многих рек России, а также объектами различного хозяйственного использования, в том числе водоприемниками для выпусков сточных вод.

Болота имеют важное хозяйственное значение как источник многих ресурсов (торф, дикорастущие растения и др.), играют особую роль в поддержании биологического разнообразия.Сильно заболочены основные районы добычи нефти и газа. Однако в настоящее время использование болот как водохозяйственных объектов недостаточно регламентировано и научно обосновано. Осушение болот нарушает гидрологический режим водосборов, а также зачастую приводит к широкомасштабным торфяным пожарам. Загрязнение болот сточными водами вызывает загрязнение связанных с ними водотоков и подземных вод. В связи с этим чрезвычайно актуальны гидрохимические исследования болот в естественном (фоновом) состоянии с целью прогностической оценки изменений основных гидрохимических параметров в процессе различных видов антропогенных воздействий (осушение, сброс сточных вод, торфоразработки, добыча нефти и газа). Основной целью нашей работы явилось изучение пространственной и временной изменчивости химического состава вод наиболее распространенных на территории нашей страны верховых болот на примере болотного массива Ламмин-Суо Ленинградской области.

Болотный массив Ламмин-Суо - это уникальный природный объект, на котором на протяжении долгого времени силами болотной станции Росгидромета ведутся наблюдения за глубиной промерзания торфяной залежи, уровнем грунтовых вод, нормами осадков и испарения. Гидрохимические исследования выполнены в рамках полевых практик студентами кафедры гидрологии суши Санкт-Петербургского государственного университетаза многолетний период наблюдений. Обобщение и статическая обработка полученных гидрохимических данных позволили выявить специфические особенности

химического состава болотных вод и установить фоновые значения основных гидрохимических показателей.

Болото массив Ламмин-Суо представляет собой болотный массив центрально-олиготрофного хода развития, занимающий участок площадью 1,85 км². Он расположен в котловине, вытянутой с северо-запада на юго-восток, длиной 2 и шириной около 1 км. В центральной части болота находится грядово-мочажинный комплекс. Северная часть является преимущественно сфагново-кустарничково-пушицево-сосновым со сфагново-пушицевыми понижениями и сфагново-кустарничково-пушицевым, облесенным сосной микроландшафтами. На южной окраине болота широко распространен сосново-сфагново-кустарничковый микроландшафт. Местность, окружающая болото, представлена слабо и скрытоподзолистыми почвами и характеризуется холмисто-котловинным камовым рельефом. Карта схема наиболее распространенных микроландшафтов болота представлена на рис.1.

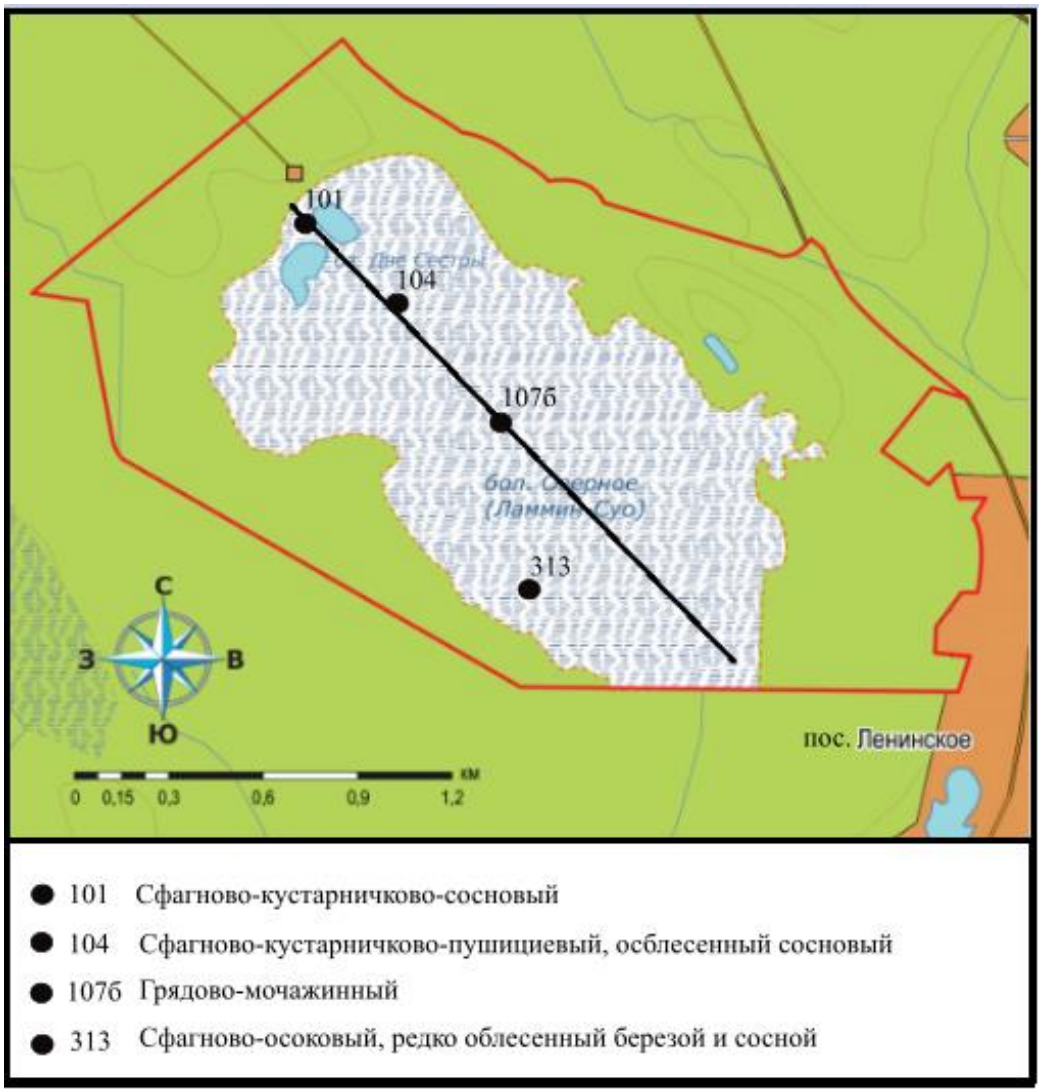


Рис.1. Болотный массив Ламмин-Суо со скважинами и типами микроландшафтов, к которым они относятся

Материалы и методы

В течение 2009-2016гг отбирались пробы воды в различных болотных микроландшафтах и проводились определения основных гидрохимических показателей,

включающих минеральные, биогенные элементы, pH и растворенные газы в соответствии с методиками Росгидромета [3].

Согласно полученным данным воды исследуемого массива относятся к кислым pH=4,31, маломинерализованным (22 мг/л) водам сульфатно –кальциевого состава. Для них характерны высокое содержание органических веществ (до 50 мгО/л), дефицит растворенного кислорода (12% насыщения) и высокое содержанием углекислого газа (81 мг/л). Для биогенного состава вод установлены высокие содержания аммонийного азота (1,08 мг/л- 2,5 ПДК) и следовые содержания фосфора фосфатов, что свидетельствует о восстановительной обстановке исследованных вод.

Вариабельность средних значений большинства показателей находится в пределах Cv= 0,2-0,5; при этом минимальные колебания установлены для pH, максимальные Cv>1 – для биогенных элементов.

Сопоставительный анализ данных химического состава не выявил статистически значимых различий в водах различных болотных микроландшафтов. Значительное увеличение общей минерализации (>25%) зарегистрировано в скважине 101 в краевой зоне, что, очевидно связано с влиянием суходола на этом участке болота.

Большой объем гидрохимических данных (с числом членов в выборках 20- 50) позволил провести расчеты фоновых характеристик исследуемого болота. Расчет проведен в соответствии с Методическими указаниями Гидрохимического института [4] по формуле:

$$C_ф = C_{ср} + \frac{\delta_x * t_{St}}{\sqrt{n}} C_ф = C_{ср} + \frac{\delta_x * t_{St}}{\sqrt{n}} \quad ,$$

где $C_ф C_ф$-фоновая концентрация вещества,

$C_{ср} C_{ср}$-средняя концентрация вещества,

$\delta_x \delta_x$- среднеквадратическое отклонение значений концентрации в рассматриваемом периоде,

t st – коэффициент Стьюдента при 95% вероятности

n – число членов в выборках.

Репрезентативность установленных нами фоновых характеристик определяется относительно низкой (Cv=0,13 -0,40) вариабельностью средних значений. Высокие коэффициенты вариации (Cv-0,58-0,92) для содержаний биогенных элементов, очевидно, обусловлены их резким снижением за счет биологического поглощения этих элементов в вегетационный период.

Из сопоставления установленных нами фоновых характеристик болотного массива Ламмин-Суо с верховыми болотами других регионов [1,2,5], можно выявить следующие общие и отличительные черты химического состава вод различных регионов России.

Выводы

Как видно из таблицы 3, общие гидрохимические показатели -pH, общая минерализация , цветность варьируют в близких пределах, что свидетельствует об устойчивости гидрохимического фона верховых болот территориально удаленных друг от друга. Наибольшая региональная специфика характерна для содержаний биогенных элементов (аммония и фосфатов). Тем не менее сохраняются выявленные нами особенности биогенного состава вод верховых болот – низкий уровень содержаний окисленных форм фосфора на фоне высоких фоновых содержаний аммония.

Таким образом, проведенные гидрохимические исследования свидетельствуют о том, что происходящие на верховых болотных массивах биохимические процессы, связанные с торфообразованием, приводят к формированию специфического химического состав болотных вод (кислая реакция, восстановительная обстановка, дефицит растворенного

кислорода, высокое содержание органических веществ), значительно отличающегося от поверхностных вод суходольных территорий.

Установленные в работе фоновые характеристики и выявленные закономерности изменения химического состава вод болота Ламмин-Суо открывают возможности для их широкого применения на неизученных или малоизученных болотах, находящихся в других природных зонах и климатических поясах различных регионов России.

Табл. 1. Фоновые содержания основных гидрохимических показателей в водах верховых болот различных регионов России

Название объектов	Болото Западной Сибири - Васюганское		Болото Архангельской обл. - Иласское		Болото Ленинградской обл. - Ламмин-суо		Болото Ленинградской обл.Ширинское	
Период наблюдений	2002-2015		1993-2015		1968, 2009-2015		1961-1987	
Показатель	Сф	N	Сф	N	Сф	N	Сф	N
pH	4,52	46	4,4	130	4,58	66	4,6	126
O2, % насыщ.					16	15	20	30
CO2, мг/л					218	10		
Общая минерализация, мг/л	27	46	29,3	121	24	29	13,4	174
Фосфор фосфатный, мг/л	0,26	38	0,039	130	0,002	33		
Цветность, градусы			1033	130	476	47	464	74
Перманганатная окисляемость, мг О/л	101	29			50	44	145	74
Азот аммонийный, мг/л	5,56	46	0,23	130	1,1	59		

Примечание N- количество членов выборки, Сф-фоновое содержание.

Список литературы

Потапова Т.М. Основные факторы формирования химического состава вод немелиорированных олиготрофных болот // Гидрохимические материалы, 1991,т.110,с.3-15

Потапова Т.М., Новиков С.М. Оценка антропогенных изменений химического состава болотных вод и стока растворенных веществ с территории естественных и мелиорированных верховых болот // Вестн. С.-Петерб.ун-та, 2006.вып.2.с.85-96

Руководство по химическому анализу вод суши Л., Гидрометеоиздат, 1977-570с.

РД 52.24.622-2001. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков: Метод. указ. – М., 2001.-56с.

Савичев О. Г. Влияние болот на гидрохимический сток в бассейне Средней Оби (в пределах Томской области) // Изв. Томского политехн. ун-та. 2005. № 3.с.45-65

Raised bogs hydrochemical background on the example of the Lammin-suo mire

Volkova D.D.*, *Potapova T.M.
St. Petersburg State University, St. Petersburg
dvolkova1996@mail.ru

Abstract: This article presents new data of the chemical composition of the Lammin-Suo raised bog located in the territory of the Leningrad Region. The features of the territorial variability of hydrochemical indicators in various parts of the swamp are revealed. According to the data of perennial research, background hydrochemical characteristics were established and it can be extended to the upper bogs of other regions of Russia.

Keywords: hydrochemical background, raised bog, acid reaction, total mineralisation

Основы рационального использования водных ресурсов для повышения уровня экологической культуры

Вьюхина А.С., Ешмагамбетова А.Б.
Карагандинский эономический университет Казпотребсоюза
dracaena_07@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются роль и значение формирования экологической культуры общества как важного процесса для стабилизации потребления водных ресурсов. Анализируются существующее противоречие между дефицитом водных ресурсов и экологизации сознания общества. Делается акцент на основах рационального использования водных ресурсов для повышения уровня экологической культуры в обществе. Преодоление экологического кризиса возможно лишь на основе экологической культуры, которая содержит главную идею – гармонизация в развитии природы и общества. Отношение человека к природе не только как материальной, но и как духовной ценности. Формирование экологической культуры рассматривается как сложный, многоэтапный, продолжительный по времени процесс утверждения в образе мышления, чувств и поведения людей. Формирование гуманного отношения личности к водным ресурсам вне формирования общей экологической культуры и экологического сознания. Экологическая культура отражает степень осознания человеком как части глобального общества своего природного и социального статуса.

Ключевые слова: рациональное природопользование, водные ресурсы, экологическая культура, благополучие общества, антропогенное загрязнение, потребление природной воды, критерии экологизации общества.

Введение

Рациональное использование водных ресурсов, можно рассматривать как часть экологической культуры, которая показывает глубину осознания человеческим обществом своего природного и одновременного социального уровня, определяет характер социо – природных взаимодействий и выявляет степень экологического благополучия общества.

По мнению Шишкиной Е.А., рациональное использование водных ресурсов, осуществляется путем неосознанного подражания внешним образцам, стихийного усвоения и закрепления поведенческих стереотипов, а также осознанным путем, отражающим общественное отношение к экологическим проблемам, формируемое в процессе обучения, под влиянием информации, что позволяет оценить поведенческую сторону экологической культуры через такие критерии, как знание, отношение, умение и желание (Шишкина, 2008).

Рост городов, активное развитие промышленности и сельского хозяйства, расширение площадей земли под орошаемые земли, улучшение культурно-бытовых условий и ряд других факторов влияют на количество и качество использованных вод в данных целях, создавая проблемы обеспечения водой населения всего земного шара. В следствие данного явления из года в год потребности в воде возрастают. Дефицит пресной воды на современном этапе развития человечества становится мировой проблемой. В некоторых странах земного шара это довольно ощутимая проблема.

Понятие «природопользование» вошло в научный оборот в конце шестидесятых годов, во времена после первых научно – технических революций. В то время интерес к проблемам, проблемам окружающей среды, взаимоотношения природы и общества начал значительно возрастать. На современном этапе определяются такие направления рационального использования водных ресурсов: более полное использование и расширенное воспроизводство ресурсов пресных вод; разработка новых технологических процессов, позволяющих предотвратить загрязнение водоемов и свести к минимуму потребление воды (Сергеев и др. 1989).

Материалы и методы

Проанализировав ситуацию потребления водных ресурсов на современном этапе развития научно – технического прогресса и развитием глобализации общества, стало ясно, что особенное значение имеет охрана от загрязнения водных ресурсов. В основном процесс загрязнения носит антропогенный характер. Главными причинами загрязнения водоемов являются сбросы неочищенных или мало очищенных сточных вод промышленными предприятиями, коммунальными хозяйствами, сельскохозяйственными предприятиями. В результате загрязнения водоемов данными стоками нарушается их биологический режим, происходит упрощение имеющейся экосистемы, уменьшается содержание в воде кислорода – важного показателя уровня жизни фауны и флоры водоема.

Всемирной организацией здравоохранения качество питьевой воды определяется по 100 параметрам (показателям). В Казахстане соответственно требованиям Государственного стандарта (ГОСТ 2874-82) качество питьевой воды определяется по 30 нормативным показателям.

Государство для поддержания оптимальной ситуации потребления водных ресурсов создает большое количество вариантов, чтобы улучшить, сохранить качество и обеспечить защиту водных ресурсов республики. Одним из факторов является экологическая культура. Она имеет особое значение для сохранения и рационального использования водных ресурсов.

Экологическая культура - это уровень восприятия людьми природы, окружающего мира и оценка отношения человека к миру. Формирование экологической культуры рассматривается как сложный, многоэтапный, продолжительный по времени процесс утверждения в образе мышления, чувств и поведения населения. Понятие экологической культуры основывается на многих аспектах: экологического мировоззрения; бережного отношения к использованию водных и земельных ресурсов, зеленых насаждений и особо охраняемых территорий; личной ответственностью перед обществом за создание и сохранение благоприятной окружающей среды; осознанного выполнения экологических правил и требований (Реймерс, 1992).

Все экологические проблемы тесно взаимосвязаны и взаимообусловлено между собой, поскольку речь идет об экосистеме, в которой все элементы находятся в прямой зависимости друг с другом, а это значит, что экологическая культура личности и общества должна быть как целостная система. Невозможно сформировать гуманное отношение личности к водным ресурсам вне формирования общей экологической культуры и экологического сознания, значит, должно присутствовать системное экологическое мировосприятие, понимающие масштаб и глобальность экологической сферы и сложившейся ситуации в области экологической безопасности.

Человек как неделимая часть экосистемы зависит от ее состояния, и экологическая культура личности отражает характер и уровень общей культуры личности и общества, в котором эта личность живет, развивается и пользуется дарами природы – показывая свое отношение к природной среде.

Результаты

В условиях сложившегося экологического кризиса в обществе с потребительскими ценностями составляющая взаимоотношений человека и природы выходит на новый уровень развития отношений. Заставляет задуматься о механизмах трансформации пространства экологической социализации в направлении формирования высокой экологической культуры в обществе на основе усвоения экологических ценностей и норм, ориентирующих на предотвращение истощения водных ресурсов и искоренение деструктивного поведения людей в экологической сфере. (Хелд и др., 2009). Необходимо осознание того, что состояние водных ресурсов находится в тесной зависимости от состояния экосистемы как открытой воспроизводящейся саморегулирующейся системы. Рациональное использование водных ресурсов можно рассматривать как часть экологической культуры, которая отражает степень осознания человеком и обществом своего природного и одновременного социального уровня,

определяет характер социо – природных взаимодействий и степень экологического благополучия общества, качества социально-экологических условий общества.

Выводы

Формирование экологической культуры представляет собой сложный многоуровневый и многосторонний процесс, эффективность которого обусловлена тем, насколько конструктивно выстроены взаимоотношения между обществом и государством, насколько тесно экологические организации сотрудничают с научными и государственными структурами, пользуясь поддержкой со стороны государства.

Изменить сложившуюся катастрофическую ситуацию в экологической системе возможно лишь с помощью изменения общественного сознания – потеря потребительских ценностей, и формировании высокой ценности природы. Только такой способ может повысить уровень индивидуальной ответственности каждого человека перед природой, способен остановить рост экологической безграмотности в обществе и предотвратить экологическую дестабилизацию природы в целом и истощения водных ресурсов в частности.

Список литературы:

Шишкина Е.А. Социокультурные практики как фактор формирования экологической культуры (по материалам Астраханской области) // Социологические исследования. 2008. № 9. С. 79.

Е. М. Сергеев, Г. Л. Кофф. "Рациональное использование и охрана окружающей среды городов " – М.: Академия наук СССР, институт литосферы, изд. Наука, 1989.

Реймерс, Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды: Словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. - М: Просвещение, 1992. - 320 с.

Хелд Д., Гольдблатт Д., Макгрю Э., Перратон Д. Глобальные трансформации: политика, экономика и культура. / Пер. с англ. РОССПЭН, 2009. С. 460-464.

Bases of rational use of water resources for increase of level of environmental culture

Vyukhina A.S., Eshmagambetova A.B.

Karaganda economic university of Kazpotrebsoyuz

dracaena_07@mail.ru

Abstract: the article discusses the role and importance of the formation of the ecological culture of society as an important process for stabilizing the consumption of water resources. The existing contradiction between the shortage of water resources and the ecologization of public consciousness is analyzed. Emphasis is placed on the basics of rational use of water resources to improve the level of ecological culture in society. Overcoming the ecological crisis is possible only on the basis of ecological culture, which contains the main idea – harmonization in the development of nature and society. Man's attitude to nature is not only material, but also spiritual. The formation of ecological culture is considered as a complex, multi-stage, time-consuming process of approval in the way of thinking, feelings and behavior of people. The formation of a humane attitude of the individual to water resources outside the formation of a common ecological culture and ecological consciousness. Ecological culture reflects the degree of human awareness as a part of the global society of its natural and social status.

Key words: environmental management, water resources management, environmental culture, the well-being of society, anthropogenic pollution, consumption of natural water, criteria for the greening of society

Об особенностях уровенного режима водохранилищ Камского каскада

Вюшкова Е.А.
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь
kat.vyuschkova@gmail.com

Аннотация: Целью исследования стало рассмотрение динамики уровенного режима Камского и Воткинского водохранилищ в многолетнем аспекте (с 1964 по 2015 гг.). Водоемы расположены в каскаде ГЭС, где регулятором является Камское водохранилище, а звеном – Воткинское. Таким образом, гидрологический режим Воткинского водохранилища находится в зависимости работы КамГЭС. Гидрологический режим водохранилищ формируется под воздействием большого числа факторов, основным из которых являются регламент эксплуатации водохранилища. Он проявляется через ход уровня воды в водохранилище. Управляя колебанием уровня, можно опосредованно управлять водохранилищем и изменять его гидрологический режим. Особенности уровенного режима водохранилища наиболее точно можно проследить при анализе годового хода уровня воды на различных постах, расположенных по длине водохранилища, или анализе характерных фазово-однородных уровней воды, под которыми следует понимать фактически наблюденные, соответствующие определенным фазам водного режима уровни. В данной работе способом анализа является характеристика и выделение фазово – однородных уровней. Самыми показательными из них признаны уровни минимальной зимней сработки и максимального наполнения водохранилища, которые отражают амплитуду колебания за год. При этом построение графика фазово-однородных уровней также отражает их пространственное колебание. Проведено сравнение Камского и Воткинского водохранилищ и сделаны выводы о величине районов переменного подпора на них. Рассмотрено влияние морфометрии и характера регулирования на динамику хода уровня. Выявлены опасные явления и факторы, создающие условия их возникновения на верхнем и нижнем бьефах гидроузла.

Ключевые слова: водохранилища, уровенный режим, характерные уровни воды, водность года.

Введение

Создание водохранилищ является «стрессом» для реки. Повышается уровень, затапливаются устья притоков, изменяются гидродинамические условия (скоростной, ветроволновой режимы), увеличивается эрозия берегов, что приводит к седиментации твердого стока и трансформации рельефа дна водохранилища. Такие изменения требуют тщательного изучения, так как это вмешательство в естественное состояние реки, которое приводит к запуску необратимых процессов. После наполнения, котловина Камского водохранилища приобрела другие очертания, в отличие от Камы в естественном состоянии. Наибольшее переформирование произошло с устьевыми участками впадающих рек, которые трансформировались в крупные заливы. Процент боковой приточности по Камскому водохранилищу очень велик (40-45% в разные годы). Воткинское водохранилище из-за малой боковой приточности (около 4%) (Китаев А.Б., 2004) почти полностью сохранило очертания русла реки до затопления, испытывая в этом плане меньшие последствия от зарегулирования стока.

Водохранилище – искусственный водоем с заранее определенным режимом работы на этапе проектирования. Т.е. все процессы управляются человеком посредством регулирования уровенного режима. Именно он представляет наибольший интерес для изучения, поскольку является ведущим фактором протекания всех процессов в водоеме.

Материалы и методы

К способам анализа уровенного режима водохранилища относятся характеристика и выделение фазово – однородных уровней, самыми показательными из которых являются наполнение и сработка водохранилища (Шайдулина А.А. и др., 2017). На водохранилище выделяются 2 части, различные по характеру уровенного режима: верхняя – переменного подпора и нижняя – постоянного подпора, а граница между ними изменяется в зависимости от водности года и фазы уровенного режима. Поэтому важно отслеживать тенденции изменения уровня водохранилищ в целях предотвращения негативного воздействия от изменения длины района переменного подпора, т.е. занесения судового хода, возникновения новых аккумулятивных форм и размывов дна водоема.

Результаты

В рамках данной работы проведена сравнительная характеристика уровенного режима Камского и Воткинского водохранилищ, произведенная по данным ежедневных уровней воды за период с 2005 по 2015 гг, предоставленными ФБУ «Камводпуть». Были установлены характерные по водности года: многоводный – 2007 г., маловодный – 2010 г. и средний по водности – 2012 г., по которым определены отличительные черты динамики уровней воды (Китаев А.Б. и др., 2017).

Анализ ежедневных и фазово – однородных уровней воды за исследуемый период показал, что сходство уровенного режима Камского и Воткинского водохранилищ выражается в том, что по мере удаления от плотины своей ГЭС увеличиваются среднегодовые уровни (табл. 1). Это связано с увеличением естественного уклона дна водохранилищ по мере удаления от плотин, и характером регулирования.

Табл. 1. Падение среднегодовых уровней от верхней части Камского и Воткинского водохранилищ к нижней в период с апреля по ноябрь

	2007	2010	2012
Камского водохранилища			
Пост	Н, м. абс		
Тюлькино	108,94	107,98	108,61
Березники	107,36	106,22	107,62
Верхний бьеф КамГЭС	107,16	106,05	106,74
Воткинского водохранилища			
Пост	Н, м. абс		
Пермь	89,08	87,99	88,14
Краснокамск	88,92	88,05	88,34
Верхний бьеф Вот ГЭС	88,3	87,5	87,72

В многоводные годы на обоих водохранилищах отмечается высокая плотность расположения линий хода уровней в навигационный период (июнь – ноябрь), что подтверждается стоянием высоких уровней и многоводностью года (рис. 1а). В такие годы водохранилища в основном накапливают воду.

В маловодные годы наоборот, амплитуда стояний уровней довольно большая, поскольку воду срабатывают для обеспечения нужд водопотребления (рис. 1б).

Помимо сходства, были выделены и отличия уровенного режима Камского и Воткинского водохранилищ. У Воткинского водохранилища угол отклонения линии хода уровней в мае от общей тенденции линий хода уровней, по сравнению с углом отклонения этой же майской линии хода у Камского водохранилища – больше. Это связано с влиянием сработки КамГЭС на уровенный режим Воткинского водохранилища. Линии хода уровня, особенно апреля и мая, имеют неестественно ровный, почти линейный вид, что подтверждает влияние от работы (сброса) Камской ГЭС. Линии хода уровней Камского водохранилища имеют искривленную форму, что говорит о влиянии естественных факторов (речной режим) для верхней части Камского водохранилища).

Также отмечается разница перепадов уровней. По мере приближения к плотине, перепад уровней в период весеннего наполнения становится на Камском водохранилище больше, а на Воткинском меньше. Данная тенденция хорошо прослеживается при анализе весеннего наполнения водохранилища, в период с апреля по май (табл. 2).

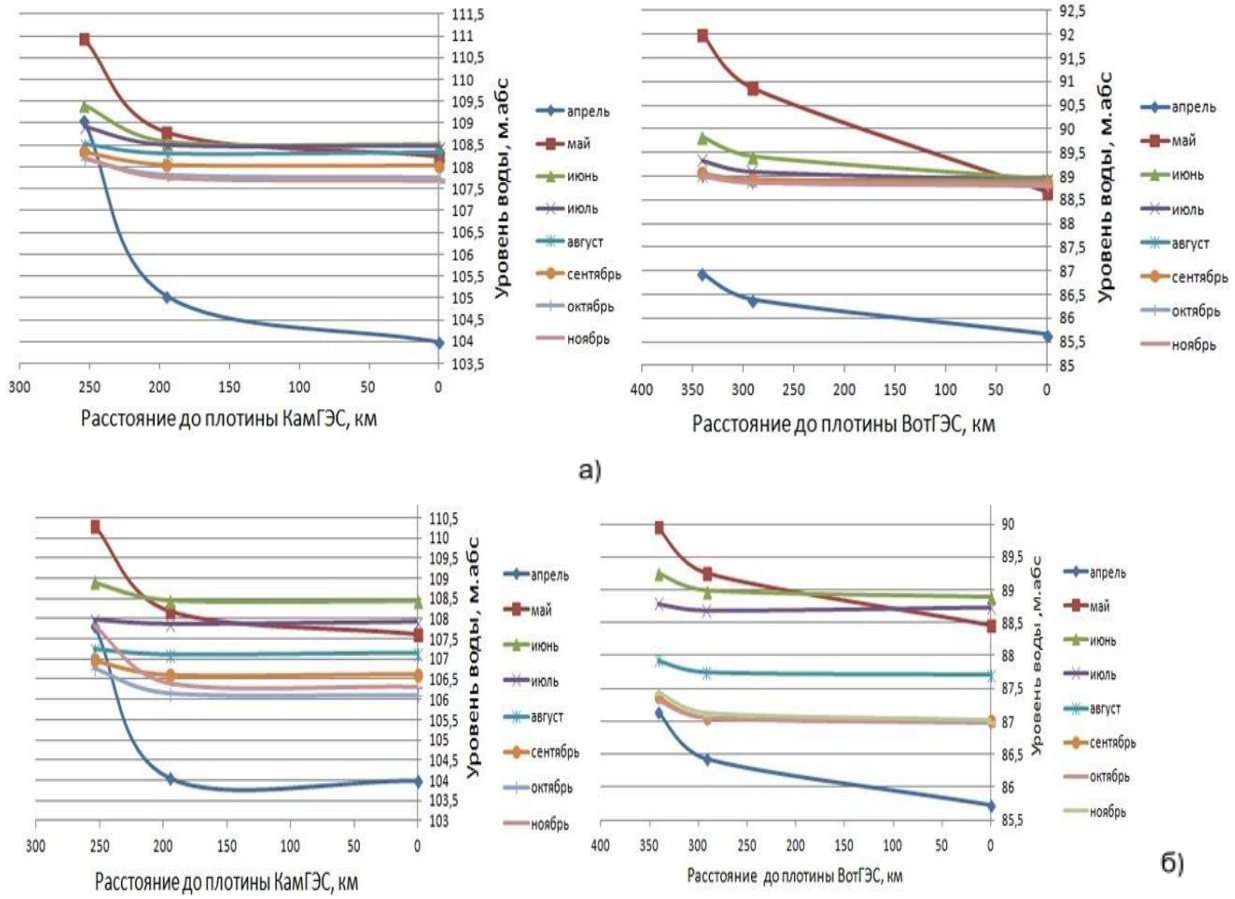


Рис. 1. Ход уровня воды на Камском и Воткинском водохранилищах за многоводный 2007 (а) и маловодный 2010 (б) гг.

Табл. 2. Анализ весеннего наполнения водохранилища в период с апреля по май на Камском водохранилище

на Камском водохранилище									
Пост	Тюлькино			Березники			в/б КамГЭС		
год	2007	2010	2012	2007	2010	2012	2007	2010	2012
Амплитуда уровней с апреля по май (м)	2	2,5	2,2	3,4	4,14	4,29	4,26	4,84	5
на Воткинском водохранилище									
Пост	Пермь			Краснокамск			в/б ВотГЭС		
год	2007	2010	2012	2007	2010	2012	2007	2010	2012
Амплитуда уровней с апреля по май (м)	5,06	2,81	1,25	4,48	3,53	2,43	3,03	2,73	2,22

Такое различие происходит из-за работы Камской ГЭС, являющейся регулятором для ВотГЭС. Поскольку у в/б КамГЭС амплитуды весеннего наполнения велики, то это сказывается на амплитуде изменения уровня с апреля по май на посту Пермь, и по мере удаления от п. Пермь амплитуды уменьшаются по длине Воткинского водохранилища.

Для верхнего бьефа более опасными являются максимальные уровни, о чем свидетельствует происшествие в многоводном 1979 г., когда в приплотинной части водоема берег обрушился в среднем на 10 м (Двинских С.А. и др. 1989). Исследование этого района на современном этапе показало, что в 2007 г. отметка уровня наибольшей зимней сработки оказалась выше на 2,5 м по сравнению с 1979 г, и минимальный навигационный уровень в 2007 г. тоже оказался выше на 1 метр. При этом скорость ветра и его продолжительность оказывают наибольшее влияние на разрушение берегов в период весенних и осенних штормов на водохранилище (Двинских С.А. и др. 2008). В 2007 г. весной наблюдалось 14 дней штормовых ветров, а осенью – 6 (со скоростью более 10 м/с). При этом беспрерывное воздействие ветра продолжалось 2-3 дня. Все это дает основание предполагать, что в многоводный 2007 г. берега разрушались с аналогичной скоростью, однако уточнение этого вопроса возможно при применении крупномасштабных русловых съемок и космоснимков.

В нижнем бьефе большую опасность представляют низкие уровни, которые, во первых, уменьшают устойчивость плотины, а во вторых, чреваты ухудшением качества питьевой и технической воды на водозаборах г. Перми и Краснокамска из-за уменьшения скоростей. Из-за сокращения расходов Камской ГЭС может возникнуть резкое понижение уровня, и усилиться явление «обратной» волны попуска. Возникновение таких «длинных» волн, и связанные с ними обратные уклоны водной поверхности и обратные течения вызывают значительные затруднения в работе водозаборов (Эдельштейн К.К., 1998).

Выводы

1. Схожесть Камского и Воткинского водохранилищ выражается в том, что по мере удаления от плотины своей ГЭС увеличиваются среднегодовые уровни. Это связано с увеличением естественного уклона дна водохранилищ по мере удаления от плотин, и характером регулирования.
2. Определяющим фактором хода уровня в верхнем и нижнем бьефе является регламент работы Камской ГЭС, однако в верхнем бьефе Камского водохранилища на изменение уровня влияет и морфометрия, о чем говорят врезанные далеко в сушу заливы – затопленные устья рек, а в Воткинском водохранилище очертания берегов не подверглись значительному переформированию и влияние оказывает лишь попусковый расход КамГЭС. Поэтому режим КамГЭС как регулятора каскада запроектирован таким образом, что бы обеспечить работу ВотГЭС и извлекать максимальную выгоду при производстве электроэнергии.
3. Анализ хода уровня показал, что по характеру уровенного режима на каждом водохранилище выделяются два неравных по площади и объёму водной массы, района: участок с малыми, постоянными в течение всего года, уклонами водной поверхности (район постоянного подпора), и район переменного подпора – с плавно нарастающим и переменным в течение года уклоном водной поверхности. На Камском водохранилище район переменного подпора занимает 45% от его длины, или порядка 135 км. На Воткинском 23%, или порядка 80 км. Однако современный анализ уровенного режима Воткинского водохранилища, в особенности в районе переменного подпора нуждается в дальнейшем уточнении, что и будет предметом последующего исследования.

Таким образом, была выполнена сравнительная характеристика уровенного режима Камского и Воткинского водохранилищ с привлечением данных о фазово-однородных уровнях в период их стояния и сработки. Однако проведенное исследование показало необходимость включения в анализ и других характерных фаз отметок стояния уровней за многолетний период, а также привлечение дополнительного отрезка времени для того чтобы сравнить сроки наступления этих фаз на современном этапе с серединой 20 века, когда последний раз проводились тщательные исследования уровенного режима звеньев водохранилищ Камского каскада в связи с запуском Воткинской ГЭС. Такое дополнительное рассмотрение этого вопроса, направленное на выявление наличия

изменений (как временных, так и количественных) уровенного режима является целью дальнейших исследований.

Список литературы

Двинских С.А., Китаев А.Б., Мацкевич И.К.Гидродинамический режим приплотинной части Камского водохранилища (в многолетнем аспекте и по материалам современных исследований) // *Географический вестник*/ Перм. ун-т. Пермь, №1(7) , 2008: 98–116

Китаев А.Б. Актуальные вопросы гидрологии и гидрохимии Камского водохранилища / Перм. гос. ун-т ; под ред. А.Б. Китаева. Перм. ун-т, 2004: 219

Китаев А.Б., Шайдулина А.А. Взаимосвязь составляющих водного баланса и характера уровенного режима в районе переменного подпора Камского водохранилища // *Успехи современного естествознания*. № 5, 2017: 101-105

Шайдулина А.А. Вюшкова Е.А. Уровенный режим Камского и Воткинского водохранилищ в многолетнем аспекте // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов* / труды VI Международной научно-практ. конф. Пермь, Т.1., 2017: 177-185

Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения / М.: ГЕОС, 1998: 277

About the features of the level regime of the Kama reservoirs cascade

Vyuschkova E.A.
Perm State University, Perm
kat.vyuschkova@gmail.com

Abstract: The aim of the study was to consider the dynamics of the level regime of the Kama and Votkinsk reservoirs in the long-term aspect (from 1964 to 2015). Water reservoirs are located in the cascade HPS, where the regulator is the Kama reservoir, and the link – Votkinsk reservoir. In this way, the hydrological regime of the Votkinsk reservoir is dependent on the operation of the Kama HPS. The hydrological regime of reservoirs is formed under the influence of a large number of factors, the main of which are the rules of operation of the reservoir. It manifests itself through the course of the water level in the reservoir. By controlling the level fluctuation, you can indirectly control the reservoir and change its hydrological regime. Features of the level regime of the reservoir can be most accurately traced in the analysis of the annual cycle of water level at different stations located along the length of the reservoir, or the analysis of the specific phase-homogeneous levels of water, under which it is necessary to understand the actually observed that correspond to specific phases of the water regime levels. In this paper, the method of analysis is the characterization and isolation of phase – homogeneous levels. The most significant of them are the levels of minimum winter working hours and maximum filling of the reservoir, which reflect the amplitude of fluctuations for the year. The plotting of phase-homogeneous levels also reflects their spatial oscillation. A comparison of the Kama and Votkinsk reservoirs, and conclusions about the magnitude of the variable backwater areas on them. The influence of morphometry and the nature of regulation on the dynamics of the level is considered. The dangerous phenomens and the factors creating conditions of their occurrence on the top and bottom of the waterworks are revealed.

Keywords: reservoirs, level regime, characteristic water levels, the water content of the year.

Масштабы внутрисуточных изменений продукционно-деструкционных процессов в Можайском водохранилище

***Гречушникова М.Г.*[1,2], *Гончаров А.В.*[1]**
[1]*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»*
[2]*ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Москва*
allavis@mail.ru

Аннотация: В работе представлены результаты оценки масштабов синоптической изменчивости продукционно-деструкционных процессов в Можайском водохранилище. Измерения выполнены авторским устройством для автоматизированного определения продукции и деструкции органического вещества в водоеме скляночным кислородным методом. Полученная в ходе эксперимента величина валовой первичной продукции соответствует ранее проведенным оценкам трофического статуса водоема. Устройство может быть использовано для изучения функциональных характеристик водных экосистем в условиях изменения различных факторов – температуры, освещенности, содержания биогенных элементов.

Ключевые слова: продукция, деструкция, оксиметр, фитопланктон.

Введение

Изучение характерных масштабов продукции (П) и деструкции (Д) в водных экосистемах позволяют выявить особенности их функционирования и оценить возможность использования водных объектов для водоснабжения, рыболовства, рекреации. Соотношение П/Д принято использовать при оценке устойчивости (стабильности) водных экосистем, например в (Алимов, 2001).

Определение П и Д возможно различными методами (Бульон, 1994, Кузнецов и Ромаенко, 1963, Методические вопросы., 1993, Минеева 2009), однако наиболее широкое распространение получил скляночный кислородный метод (Винберг, 1960). Преимуществом метода является его простота, однако для учащенных детальных наблюдений он достаточно трудоемкий. Автоматизация метода, предложенная в работе (Шинкар и др. 1987), широкого применения не получила. Авторами предложена модификация метода, позволяющая проводить исследование суточных и сезонных изменений П и Д в зависимости от различных факторов. В работе приведено описание способа автоматизации известного метода и представлены результаты наблюдений для вегетационного сезона 2016 г.

Цель работы

Избыточное развитие фитопланктона в водохранилищах питьевого назначения приводит к повышению нагрузки массой органического вещества на систему очистных сооружений водопроводных станций. Большая пространственно-временная изменчивость признаков цветения в водоемах в течение вегетационного периода недостаточно полно характеризуется мониторинговыми наблюдениями за состоянием качества воды. Задача работы – изучение синоптических и внутрисуточных масштабов изменения продукционно-деструкционных процессов в Можайском водохранилище, входящем в систему водоснабжения г. Москвы.

Материалы и методы

Предлагаемая авторами продукционная установка состоит из двух сосудов каплевидной формы (объемом 1 л) со стеклянными патрубками сверху и снизу. Один из сосудов покрашен непрозрачной синей краской. Верхние патрубки открыты, нижние соединены трубками с водяным насосом, включающимся с помощью реле времени. В течение минуты производится прокачка около 6 л воды в сосудах, затем на протяжении 2

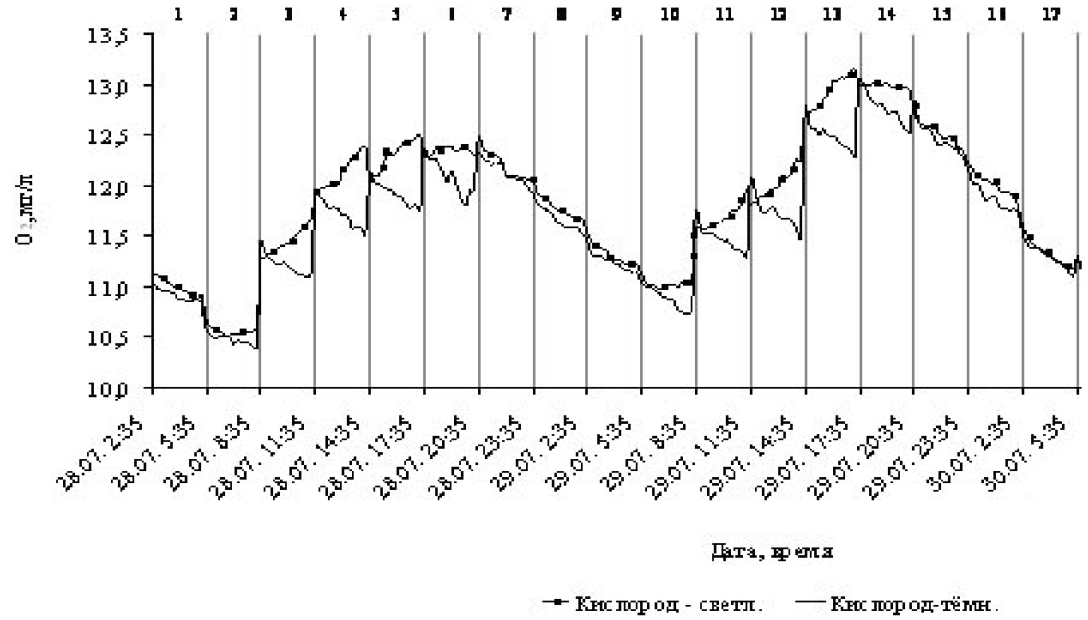
час 59 мин происходит экспозиция сосудов заполненных водой в начале экспозиции. В течение экспозиции каждые 15 минут в сосудах измеряется концентрация растворенного кислорода регистраторами с оптическими датчиками. В течение вегетационного периода 2016 г. сосуды экспонировались в средней части Красновидовского плёса Можайского водохранилища, расположенного в верховьях р. Москвы и входящем в систему водоснабжения столицы. Основной проблемой долгосрочного использования предложенной установки является обрастание сосудов, в т.ч. изнутри, поэтому их нужно промывать или производить замену на чистые (частота промывки зависит от интенсивности развития фитопланктона, в среднем 1 раз в неделю).

Результаты

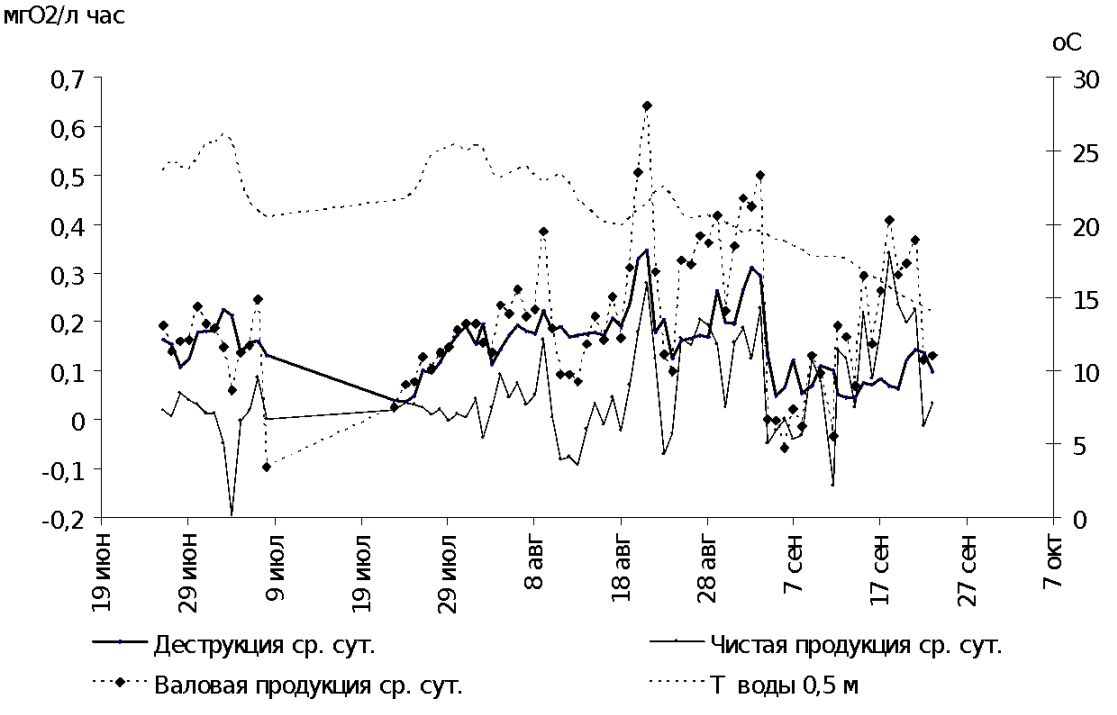
В качестве примера приведем вначале некоторые результаты измерений содержания растворенного кислорода. На рис. 1а наглядно видно пилообразное изменение содержания кислорода с периодом 3 часа в темном сосуде, соответствующее периодичности работы насоса. В начале каждого цикла в светлое время суток наблюдается наибольшее за цикл содержание кислорода в темном сосуде, когда в него поступает порция воды из водоёма, обогащенная кислородом в результате фотосинтеза. В течение экспозиции содержание кислорода в темном сосуде снижается из-за деструкции органического вещества. Минимальное за цикл значение обычно фиксируется перед очередной прокачкой. В темное время суток и в темном сосуде и в водоеме кислород только потребляется, и его концентрация снижается, что хорошо видно в циклах прокачки 8-10 и 15-17, подписанных вверху рисунка. По этой причине в это время не наблюдается увеличения кислорода в темном сосуде после прокачки через него нового объема воды.

В светлое время суток содержание кислорода в светлом сосуде увеличивается (циклы экспозиции 3, 4, 5, 11, 12, 13). Это свидетельствует о наличии чистой первичной продукции, которая равна разности между конечным и начальным содержанием кислорода в светлом сосуде. Утром (5:35-8:35) и вечером (17:35-20:35) содержание кислорода почти не изменяется, в темное время суток (циклы экспозиции 1, 7, 8, 9, 15, 16, 17) содержание кислорода в светлом сосуде снижается, примерно, так же, как и в темном, так как происходит только деструкция органического вещества в воде. Заметим, что в ряде случаев в конце 3-х часовой экспозиции содержание кислорода в светлом сосуде оказывается больше, чем в воде водоема, которая закачивается в конце цикла (периоды 4, 5, 13). Это связано с тем, что в водоеме имеют место и эвазия и перенос кислорода в более глубокие слои при вертикальном перемешивании.

Полученные данные об изменении содержания растворенного кислорода использованы для определения чистой продукции и деструкции как разности между начальным и конечным содержанием кислорода в светлом и темном сосудах за каждые 3 часа. Валовая первичная продукция определена сложением деструкции и чистой продукции. Рис. 1б иллюстрирует изменчивость среднесуточных значений П и Д в течение вегетационного периода, охваченного наблюдениями. В июне-июле значительного развития фитопланктона не наблюдалось, несмотря на благоприятные термические условия (в течение двух периодов антициклонической погоды температуры воды достигала 25^{o}C и более. Наибольшие среднесуточные значения валовой продукции выявлены в середине августа. Очевидно, это связано с перемешиванием части стратифицированной водной толщи в период циклонической погоды 11-18 августа и поступлением в поверхностный горизонт биогенных веществ, накопившихся за период с бескислородными условиями в придонном слое, а также с притоком биогенов с водосбора с паводками. Так, 24 июня содержание минерального фосфора на горизонтах 0,5 и 14 м составляло 0,023 и 0,037 мг/л, а 19 августа – 0,016 и 0,585 мг/л.



а



б

Рис. 1. Изменение содержания растворённого кислорода в светлом и темном сосудах продукционной установки (а); изменение среднесуточных значений валовой, чистой продукции, деструкции и температуры воды за период экспериментальных измерений (б).

По данным расчета внутрисуточного изменения величин продукции и деструкции по трехчасовым интервалам видно, что внутрисуточная изменчивость величин П увеличивается к концу лета-началу осени. Для более детального анализа рассмотрены внутрисуточные изменения характеристик за некоторые характерные даты (табл. 1). 2 июля и 20 августа наблюдалась антициклоническая погода с кучевой облачностью и слабым (0-2 м/с) ветром. В первый день температура воздуха изменялась в пределах 15-26,7 ºС, во второй 16-24,3 ºС). 13 августа приходится на период похолодания с ветром до 4

м/с, облачностью до 9 б-10 баллов и осадками. 18 сентября было ветрено (3-5 м/с), облачно (10 баллов) и прохладно (6-11 ºС).

Табл. 1. Изменение валовой, чистой продукции, деструкции за трехчасовой период и температуры воды за характерные даты периода экспериментальных измерений

Интервал времени	Деструкция	Чистая продукция	Валовая продукция	Т воды на горизонте 0,5 м
02.07.2016				
0-3	0,37	-0,19	0,18	25,06
3-6	0,44	0,05	0,49	24,72
6-9	0,58	0,19	0,77	24,88
9-12	0,65	0,27	0,92	25,36
12-15	0,54	0,12	0,66	26,36
15-18	0,41	0,01	0,42	25,52
18-21	0,64	-0,18	0,46	25,6
21-24	0,68	нд	нд	25,46
13.08.2016				
0-3	0,55	-0,73	-0,18	21,72
3-6	0,51	0,11	0,62	21,54
6-9	0,4	3,05	3,45	21,34
9-12	0,47	4,02	4,49	21,52
12-15	0,51	2,12	2,63	21,52
15-18	0,56	0,46	1,02	21,52
18-21	0,55	-1,02	-0,47	21,38
21-24	0,45	-1,09	-0,64	21,2
20.08.2016				
0-3	0,86	-0,49	0,37	20,84
3-6	0,87	1,19	2,06	20,66
6-9	0,83	1,19	2,02	20,48
9-12	0,96	2,48	3,44	20,66
12-15	1,11	0,11	1,22	21,16
15-18	1,18	-0,07	1,11	20,82
18-21	1,12	-1,99	-0,87	21,94
21-24	1,14	-1,7	-0,56	21,02
18.09.2016				
0-3	0,24	-0,81	-0,57	15,88
3-6	0,19	-0,21	-0,02	15,8
6-9	0,2	6,92	7,12	15,68
9-12	0,2	3,99	4,19	15,62
12-15	0,13	1,83	1,96	15,62
15-18	0,17	-1,79	-1,62	15,58
18-21	0,26	-0,96	-0,7	15,54
21-24	0,26	-0,84	-0,58	15,48

2 июля продукционные процессы шли менее интенсивно, чем 20 августа, несмотря на благоприятные погодные условия, что связано с дефицитом биогенов для водорослей. В середине августа водная толща перемешана до 10 м (до уровня затопленной поймы), что в совокупности с большим объемом паводочных вод в конце июля способствовало интенсификации продукционных процессов. Однако, наибольшая внутрисуточная неоднородность в изменении величин продукции отмечена в середине сентября, несмотря на прохладную облачную погоду. При более низких значениях деструкции чистая продукция превышает даже ее значения в августе, что связано как с поступлением биогенных веществ с водосбора во время паводков в первой декаде сентября, так и с полным перемешиванием до дна водной толщи при разрушении стратификации и

поступлением в поверхностные горизонты биогенных веществ, накопленных в придонном горизонте за вегетационный период.

Заключение

Из результатов проведенного полевого эксперимента следует вывод, что предложенный метод автоматизации наблюдений для определения и расчета продукции и деструкции в водоеме адекватно описывает рассматриваемые процессы и может быть использован в дальнейшей работе. Метод перспективен для изучения факторов, влияющих на суточные и сезонные изменения биологической продуктивности водоемов. Полученные результаты согласуются с данными о внутрисуточной интенсивности продукционно-деструкционных процессов, полученными учащенным применением стандартного скляночного метода ранее в 2011-2015 гг. и параллельно в 2016 г. [4].

Полевые исследования, включая изготовление прибора для автоматической регистрации продукционных процессов, выполнены при поддержке РНФ (проект 14-17-00155), а обобщающий анализ произведен при поддержке РФФИ (проект 18-05-01066)

Список литературы

Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб: Наука, 2001. 147 с.

Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах//Тр. Зоолог. ин-та РАН. Санкт-Петербург: Наука. 1994. Т. 216. 219 с.

Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 329 с.

Гречушникова М. Г., Кременецкая Е. Р. Внутрисуточные изменения валовой первичной продукции фитопланктона Можайского водохранилища при разных погодных условиях // Вода и экология. — 2013. — № 3. — С. 65–79.

Кузнецов С.И., Романенко В.И. Микробиологическое изучение внутренних водоёмов.

Лабораторное руководство. М.:, Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. 129 с.

Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоёмов. Ответственный редактор: Л.И. Пырина. С-Пб: Гидрометеоиздат, 1993, 168 с.

Минеева Н.М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги / Н.М. Минеева. Отв. ред. А.И. Копылов. Ярославль: Принтхаус, 2009. – 279 с. – ISBN 978-5-904234-09-6

Шинкар Г.Г., Хромов В.М., Семин В.А. Устройство для определения первичной продукции и деструкции органического вещества в водоемах и водотоках // Авторское свидетельство N1458758 19.01.1987.

Peculiarities of primary production and destruction processes in the Mozajsk reservoir

***Grechushnikova M.G.*[1, 2], *Goncharov A.V.*[1]**

[1]*Moscow state university*

[2]*Institute of water problems RAS*

allavis@mail.ru

Abstract: The paper presents the results estimation of primary production and destruction processes synoptical changes in the Mozaisk reservoir. Measurements are fulfilled with an invention for automatical measurement by glass oxygen method. Net production in the experiment corresponds with estimation of trophical status of the reservoir made earlier.

This new invention may be used for investigation of water system characteristics in terms of change of different factors: temperature, light, nutrients.

Keywords: primary production, destruction, oxygen meter, phytoplankton.

Изменение гидроэкологического состояния водоемов-охладителей под влиянием сброса теплых вод объектами теплоэнергетики Тверской области

***Григорьева И.Л.*[1], *Комиссаров А.Б.*[1], *Кузовлев В.В.*[2], *Чекмарёва Е.А.*[1]**

[1]*Иваньковская НИС – филиал Института водных проблем Российской академии наук, Конаково*

[2]*Тверской государственный технический университет, г. Тверь*

Irina_Grigorieva@list.ru

Аннотация: Приведены предварительные данные исследования влияния двух крупных объектов теплоэнергетики Тверской области (Калининская АЭС и Конаковская ГРЭС) на гидроэкологическое состояние водоемов-охладителей, которые выполнялись в 2017 г. в рамках регионального гранта РФФИ - Тверская область №17-45-690600. Были проведены натурные исследования озер Песьво и Удомля и Мошковического залива Иваньковского водохранилища. Исследовался температурный режим, макро- и микрокомпонентный состав воды и донных отложений, видовой состав фитопланктона и высшей водной растительности водоёмов-охладителей, а также их степень зарастания. Установлено, что сброс теплых вод повлек за собой снижение видового разнообразия фитопланктона в озерах Песьво и Удомля и появлению ранее не свойственных водоемам видов фитопланктона и высшей водной растительности. В донных отложениях озер отмечались повышенные относительно кларка концентрации меди и свинца, что не было зафиксировано в более ранних исследованиях.

Ключевые слова: Калининская АЭС, Конаковская ГРЭС, сброс теплых вод, качество воды, донные отложения, фитопланктон, высшая водная растительность

Введение

Объекты теплоэнергетики оказывают негативное влияние на окружающую среду и, в частности, на гидроэкологический режим водоемов-охладителей и являются потенциально опасными для экологической безопасности региона, в котором они расположены. Чтобы выявить это негативное влияние необходимо проведение независимого экологического мониторинга. В Тверской области расположены два крупных объекта теплоэнергетики: Калининская АЭС и Конаковская ГРЭС, которые производят сброс подогретых вод соответственно в озера Песьво и Удомля и Мошковичский залив Иваньковского водохранилища. Озера Песьво и Удомля являются объектом рекреационного использования и любительского рыболовства для местного населения. Иваньковское водохранилище - объект рекреационного использования и любительского рыболовства для жителей Твери, Конаково и других населенных пунктов, расположенных по его берегам и один из источников питьевого водоснабжения г. Москвы. Ухудшение экологического состояния водоемов-охладителей может негативно сказаться на здоровье большого количества людей, поэтому очень важно объективно оценить современное гидроэкологическое состояние водоемов и влияние на него поступления подогретых вод, а также выработать практические рекомендации по их реабилитации.

Материалы и методы

В 2017 г. в рамках регионального гранта РФФИ - Тверская область №17-45-690600 были проведены натурные исследования озер Песьво и Удомля и Мошковичского залива Иваньковского водохранилища. Изучался температурный режим, макро- и микрокомпонентный состав воды и донных отложений, видовой состав фитопланктона и высшей водной растительности водоёмов-охладителей.

Отбор проб воды в озерах Песьво и Удомля был произведен в мае, июле и октябре. В Мошковическом заливе Иваньковского водохранилища в августе и сентябре 2017 г. Донные отложения (ДО) во всех водоемах были отобраны в августе месяце. Пробы воды отбирали из поверхностного слоя воды согласно ГОСТу 31861-2012. Для отбора проб ДО использовали Дночерпатель ДЧ-0.025. Этот дночерпатель предназначен для отбора смешанной пробы с поверхностного слоя грунта с нарушением стратификации слоев (ГОСТ 17.1.5.01-80, 1980). Химический анализ проб воды и донных отложений выполнен в химической лаборатории Иваньковской НИС ИВП РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21AH96).

Чтобы оценить изменение гидроэкологического состояния водоемов-охладителей Калининской АЭС под влиянием тепловых сбросов отбор проб параллельно производился в фоновых озёрах Наволок и Кезадра. Результаты натурных данных полученных при исследовании Мошковичского залива Иваньковского водохранилища сравнивались с данными в фоновом створе в районе забора воды для охлаждения турбин Конаковской ГРЭС.

Результаты

Сравнительный анализ гидрохимических характеристик водоемов-охладителей Калининской АЭС и оз. Наволок показал, что для водных масс озер характерны более высокие значения pH, жесткости, щелочности и минерализации воды, чем в фоновом озере. В озерах-охладителях концентрации сульфатов были примерно в три раза выше, чем в оз. Наволок. Летом концентрации хлоридов в озерах-охладителях были выше, чем в оз. Наволок в 15 раз. Более высокие концентрации железа общего, общего фосфора и нитратов, цветности, ПО и ХПК, наоборот, были выше в оз. Наволок, чем в озерах-охладителях. Концентрации нитратов, меди и свинца были выше в озерах-охладителях, чем в фоновом озере. Концентрации цинка и хрома были примерно равными во всех озерах.

В (География, 1999) отмечено, что с момента пуска АЭС в озерах достоверно увеличились концентрации гидрокарбонатов, сульфатов, кальция и магния и pH, что подтверждено и нашими исследованиями летом 2017 . В 90-х годах прошлого столетия значения ПО вводе колебалась в интервале 7.9-16.3 мгО/дм^3. По нашим данным значения ПО в озерах в настоящее время варьируют в интервале 11–18 мгО/дм^3, что ниже, чем в фоновом озере Наволок.

Наши исследования показали, что макрокомпонентный состав воды, отводимой от Конаковской ГРЭС в Мошковичский залив, близок к значениям в фоновом створе. В августе 2017 г. в отводящем канале отмечены в два раза более высокие, чем в фоновом створе, концентрации меди и хрома. Температура воды в районе сброса теплых вод в канал в августе превышала температуру в фоновом створе на 8ºС, а в сентябре – на 9ºС.

В водоемах-охладителях Калининской АЭС выявлена четкая зависимость изменения механического состава донных отложений с глубиной. Донные отложения озерных котловин Удомли и Песьво представлены, по (Тихомиров и Тихомирова, 2007): коричневыми сапропелями на глубине, которые перекрывают темно-серые (толщиной 10-30 см) и желто-серые (толщиной 10-25 см) сапропели. В слабопроточных мелководных зонах дно занимают макрофитные отложения (толщиной 5-30 см). На участках абразионной деятельности, в местах добычи песка (район АЭС и юго-запад оз. Песьво), строительства дамб участки дна покрывают крупно и мелкозернистые пески, в том числе заиленные, и суглинки. В оз. Удомля сохранились трансформированные после затопления территории почвы. Можно наблюдать грунтовые комплексы, характерные для устьев водотоков: сочетание минеральных и оторфованных илов с прослойками песка (Тихомиров и Тихомирова, 2007).

В глубоководной части в ДО отложениях происходит накопление Cu, Fe, Mn, Cd, Ni, Pb, на литоральных участках активно аккумулируются Cd, Cu, Pb, Mn, в пелигиально-профундальном участке – Fe, Ni (Тихомиров и Тихомирова, 2007).

Летом 2017 г в ДО озер Кезадра и Наволок нами отмечены концентрации железа общего в 1.5-6 раз выше, чем в озерах Удомля и Песьво. Концентрации сульфатов в ДО озер Кезадра и Песьво были близки между собой, а в озере Наволок – в 2-4 раза выше по сравнению с остальными озерами. Концентрации хлоридов в ДО оз. Удомля в районе сброса сточных вод от г. Удомля превышали природный фон (оз. Кезадра) более чем в 4 раза.

Установлено, что для фоновых озер в ДО отмечается повышенное содержание цинка, для озер с техногенной нагрузкой – меди. Цинк накапливается в связи со слабой проточностью озер.

В 2017 г. в альгофлоре планктона оз. Песьво и Удомля было идентифицировано 147 таксонов водорослей рангом ниже рода, что на 12 % ниже разнообразия по результатам исследования 2014 г. и на 16 % ниже такового в 2010 г. Ядро флоры по-прежнему формировали зелёные и диатомовые водоросли, на долю которых приходилось 74 % от общего состава фитопланктона (табл. 1). Стоит отметить появление в составе планктона представителей десмидиевых водорослей (Streptophyta), которые отсутствовали в составе флоры в 2014 г. и одновременное выпадение из структуры сообществ цианобкетрии *Planktolyngbya circumcreata* (G.S.West) Anagnostidis&Komarek, которая интенсивно вегетировала в 2014 г.

Общая численность фитопланктона в 2017 г. изменялась от 190 тыс.кл/дм^3 до 7.86 млн.кл/дм^3, что существенно выше аналогичных показателей в 2014 г. Основу численности формировали весной зелёные, золотистые и криптофитовые водоросли при участии диатомей, летом – цианобактерии при участии диатомовых и зелёных водорослей, осенью – цианобактерии, криптофитовые и зелёные водоросли. Аналогичная картина наблюдалась и в 2014 г. По численности в разные сезоны доминировали зелёные водоросли *Lagerheimia genevensis* (Chodat) Chodat, *Scenedesmus intermedius* Chodat, цианобактерии *Merismopedia tenuissima* Lemmermann, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Oscillatoria planctonica* Woloszynska и *Rhabdoderma lineare* Schmidle & Lauterborn, криптофитовая водоросль *Chroomonas acuta* Dujardin, диатомея *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen и золотистая водоросль *Mallomonas sp.* Perty.

Табл. 1. Таксономическое разнообразие водоёмов-охладителей Калининской АЭС в 2017 г. по отделам

Отделы водорослей	Видов	Внутривидовых таксонов	Всего	% от общего числа
Chlorophyta	63	8	71	48
Bacillariophyta	35	3	38	26
Cyanobacteria	12	0	12	8
Euglenophyta	7	0	7	5
Cryptophyta	7	0	7	5
Chrysophyta	6	0	6	4
Dinophyta	3	0	3	2
Streptophyta	2	0	2	1
Xanthophyta	1	0	1	1
Всего	136	11	147	100

Общая биомасса фитопланктона изменялась от 0.026 до 1.150 мг/дм ^{3}, что практически в 2 раза ниже по сравнению с 2014 г. Основу биомассы формировали весной золотистые, динофитовые, зелёные и диатомовые водоросли, летом – диатомовые и

цианобактерии, осенью – диатомовые при участии криптомонад и зелёных водорослей, что сопоставимо с результатами, полученными в 2014 г. По биомассе в 2017 г. доминировали круглогодично диатомовые водоросли *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Stephanodiscus neoastrea* Håkansson & Hickel, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Melosira varians* C. Agardh, *Cymatopleura solea* (Brébisson) W. Smith и *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst при участии в разные сезоны золотистой водоросли *Mallomonas sp*., цианобктерии *Microcystis aeruginosa* и динофлагелляты *Diplopsalis acuta* (Apstein) Entz.

В Мошковичском заливе Иваньковского водохранилища наблюдалось значительное снижение численности и видового разнообразия фитопланктона по сравнению с фоновым створом.

Для водоемов с повышенным температурным режимом характерно появление и расселение адвентивных видов высшей водной растительности. Высокое видовое разнообразие высшей водной растительности и расселение чуждых видов, - следствие формирования комфортных условий роста и развития местных и южных растений от умеренной до тропической природной зоны. В озерах Удомля и Песьво отмечены следующие адвентивные виды: аир обыкновенный *AcoruscalamusL.,* ситник тонкий *Juncustenuis*Willd., тростник южный *Phragmitesaustralis*(Cav.) Trin. exSteud, элодея канадская *ElodeaCanadensis*; в Мошковичском заливе Иваньковского водохранилища - водяной орех (чилим) TrapanatansL., наяда морская NayasmarinaL. В основном, зарастанию высшей водной растительностью подвержены: мелководья, участки рек в условиях подпора, места сброса сточных вод (населенные пункты, очистные сооружения). На участках с высокими и средними скоростями течения формируется бордюрная форма зарастания тростниками Phragmites, манником большим Glyceriaaquatica (L.) Wahlb. и другими видами растений. Адвентивные виды составляют конкуренцию местным видам, и могут выживать их из зон постоянного обитания. Площади зарастания в Мошковичском заливе водяным орехом (чилимом) TrapanatansL. сильно увеличились в настоящее время, занесение вида началось с нескольких растений (примерно конец 2000-х г.).

Зарастание высшей водной растительностью оказывает как положительное, так и отрицательное воздействие на водоем. Положительное – это запуск механизмов самоочищения водоемов, происходит удаление части биогенных и органических веществ из воды. Отрицательное – усиление процесса эвтрофикации, вторичное загрязнение водоема вследствие разложения растительной биомассы, создание участков с дефицитом кислорода, что усиливается на фоне повышенного температурного режима. Высшая водная растительность, по нашим расчетам) занимает всего около 4% площади озер Удомля и Песьво, в Мошковичском заливе макрофитами занято около 15% от площади залива.

Выводы

Анализ литературных данных и собственные предварительные исследования показали, что воздействие сброса подогретых вод в водоемы-охладители ТЭС и АЭС многопланово и заключается, в основном, в заметном изменении температурного режима и существенном влиянии на гидробионтов, их прямом травмировании, изменении жизненных циклов, усилении токсичности загрязнителей.

Наши исследования подтвердили ранее сделанный вывод (География, 1999), что с момента пуска Калининской АЭС в озерах достоверно увеличились концентрации гидрокарбонатов, сульфатов, кальция и магния и pH. В исследованных нами водоемах-охладителях отмечалось существенное уменьшение видового разнообразия и биомассы фитопланктона. Отмечено заселение водоемов-охладителей, несвойственными водоемам в естественном состоянии, видами высшей водной растительности. Отмечено существенное накопление микроэлементов в донных отложениях. Установлено, что для

фоновых озер в ДО отмечается повышенное содержание цинка, для озер с техногенной нагрузкой – меди.

В дальнейшем планируется продолжить исследования водоемов-охладителей и акцентировать внимание на влиянии теплового загрязнения на бентос и на определении биомассы высшей водной растительности.

Список литературы

ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. (дата введения 01.01.2014). Стандартинформ, г. Москва, 2013 г.

ГОСТ 17.1.5.01-80 Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. (дата введения 05.04.1999 г.), Госстандарт, г. Москва, 1980 г.

География Удомельского района. Тверь:РИУ Тверского университета, 1999. 356 с.

Тихомиров О.А., Тихомирова Л.К. Мониторинг экологического состояния донных отложений водоема-охладителя Калининской АЭС. Вестник ТвГУ. Серия «ГЕОГРАФИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ», вып. 3, Тверь, 2007 г. С. 33-42.

The changing of the hydroecological condition of cooler-ponds underthe influence of discharge warm water from heater objects of Tver region

***Grigorieva I.L.*[1], Komissarov A.B.[1], Kuzovlev V.V.[2], Chekmariova E.A.[1]**

[1]*Ivankovskaya Research Station the department of the Water Problems Institute of the Russian Academy of Science*

[2]*The Tver State Technical University, Tver*

Irina_Grigorieva@list.ru

Abstract: There are given the preliminary studies of the influence of two most important heat power facilities of the Tver region (Kalinin Nuclear Power Plant and Konakovskaya GRES) on the hydroecological condition of cooler-ponds. There were conducted studies of lakes Udomlya and Pesvo and Moshkovichevskiy Bay of Ivankovskoye Reservoir. The temperature regime, macro - and micro-component composition of water and bottom sediments, species composition of phytoplankton and higher aquatic vegetation of cooling water bodies, as well as their degree of overgrowth were studied. It was found that the discharge of warm waters resulted in a decrease in the species diversity of phytoplankton in the lakes of Pesvo and Udomlya and the emergence of species of phytoplankton and higher aquatic vegetation. In the bottom sediments of the lakes there were increased concentrations of copper and lead, which was not recorded in earlier studies.

Keywords: Kalinin Nuclear Power Plant, Konakoskaya GRES, discharge warm water, bottom sediments, phytoplankton, water plants.

Рекомендации по восстановлению естественной водной экосистемы малого искусственного водоема воронежского центрального парка г. Воронеж

***Давыдова Н.С.*, Серикова В.И.**
Ботанический сад им. проф. Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия
russia1307@yandex.ru

Аннотация: В статье рассматривается проблема ухудшения качества воды искусственного водоема Воронежского центрального парка. Для изменения данной ситуации даются рекомендации по реконструкции рукотворного водоема. Представлен проект, моделирующий естественную водную экосистему.

Ключевые слова: пруд, экосистема, качество, водные и прибрежно-водные растения.

Введение

Воронежский центральный парк по праву считается одним из самых красивых ландшафтно-архитектурных ансамблей Воронежа. Его обновление и преобразование началось в 2014 году. Французскому ландшафтному архитектору Оливье Даме и московской компании «Мегапарк» удалось сохранить историческую неповторимость старого парка и в то же время придать совершенно иное звучание многим его укромным уголкам. На новый лад были преобразованы практически все существующие водные объекты: родники, ручей, пруд. Рукотворный водоем был заключен в бетонную чашу овальной формы. Из-за бетонированного дна связь водоема с грунтовыми водами прекратилась, в летнее время он сильно перегревается. В результате, как и во многих непроточных водоемах, в нем создаются условия, способствующие эвтрофикации воды и интенсивному размножению цианобактерий. В итоге ухудшаются качество и цветность воды, общая эстетика водоёма.

Сотрудники Муниципального казенного предприятия «ЭкоЦентр» и работники парка с мая – октябрь 2016-2017 гг. использовали различные способы реконструкции водного объекта: химические (добавление пероксида водорода), биологические (запуск хлореллы, высаживание водного гиацинта, запуск всеядных видов рыб), а также механическое удаление водорослей, установление фильтров для перемешивания слоев воды (устранение слоёв стратификации).

Но для того, чтобы запустить процессы биологического круговорота в данном водоеме и воссоздать функционирующую живую экосистему, необходим комплексный подход. Помимо того, нужно придать привлекательный облик акватории. В соответствие с проблематикой основной целью нашего проекта является создание эстетически привлекательной водной экосистемы, способной к самоочищению и саморегуляции. В рамках поставленной цели предполагается реализовать следующие задачи:

1. рассчитать и спланировать структуру экосистемы пруда, обеспечивающую его функционирование;
2. разработать приемы и способы создания ландшафтно-декоративных композиций на базе данного водного объекта.

Материалы и методы

Для решения проекта используется типичная схема структуры водной экосистемы, включающая группы продуцентов, консументов I и II порядков, а также редуцентов (преимущественно, беспозвоночных). Растения – основной компонент экосистемы, ответственный за производство фитомассы – начального звена трофической цепи водоема, обеспечивающий водную среду кислородом и питательными веществами. Исходя из

водной массы пруда производится расчет количества первичной фитомассы, производимой высшими водными растениями для обеспечения питания и дыхания остальных членов микроценоза, включая утилизаторов отходов отмершей фитомассы (Давыдова, 2010).

Важным элементом экосистемы являются высшие водные растения, обеспечивающие кислородное дыхание и питание консументов и предотвращающие эвтрофикацию водоёма. Подбор растений проводится с учетом их эколого-биологических особенностей. Из большого количества высших водных растений и прибрежно-водных были выбраны наиболее устойчивые для условий неоднородного обводнения: аир обыкновенный (*Acorus calamus* L.), касатик болотный (*Iris pseaudacorus* L.), кувшинка белоснежная (*Nympheae candida* C.Presl), рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.), роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L.), тростник южный *(Phragmites australis* f. variegata), уруть водная (*Myriophyllum aquaticus* L.) (Давыдова и Серикова,2017).

Методическим обеспечением решений являются правила заполнения водоема высшими водными растениями, исходя из которых не менее 2/3 водного зеркала должно быть свободно от растительности. Важное значение имеют сроки (с начала апреля до середины июля) и последовательность высадки. Первыми в пруд помещают глубоководные растения-оксигенераторы, которые нужно высаживать по одной посадочной единице на 1 м^2. Как только температура воды достигнет +18+20°С, в него можно высадить кувшинки и свободноплавающие растения. Когда пруд заселен, можно приступить к высадке растений в береговой зоне.

Наравне с водной растительностью ихтиофауна являются неотъемлемой частью экосистемы водных объектов. Её количество рассчитывается исходя из объема водного объекта, а видовой состав определяется гидротехническими характеристиками искусственного водоема.

Однако, правильнее рассчитывать количество ихтиофауны, исходя из компонентов кормовой базы, которая формируется в водоеме как высшей водной растительностью, так и планктонными микроорганизмами и бентосом. В первые годы функционирования пруда она будет очень мала. В определенные периоды рыбам нужно больше корма. Не всегда они в состоянии найти его сами. Тогда на помощь приходит дополнительная подкормка.

Суточная потребность рыб в пище определяется погодными условиями, температурой воды, зависит от кислородного режима. При двухразовом кормлении корм дают в 6-8 ч утра, последующие - через 6-8 ч. После раздачи корма через 1-1,5 ч необходимо проверить на кормовых местах поедаемость его рыбой.

Расход кормов в среднем за вегетационный период по месяцам выращивания будет примерно следующим; май - 1 %, июнь – 16 %, июль – 41 %, август – 39 % и сентябрь - 3%. Таким образом, около 80% кормов рыба получает за два месяца - июль и август.

При выборе видового состава предпочтение отдаем травоядным видам рыб, обитающим на территории области в естественных водоемах, за исключением карпа и других представителей данного семейства, которые сильно мутят воду. Для заселения водоёма мы рекомендуем три вида рыб.

Орфа - *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758)- имеет золотистый или розовый цвет, очень подвижная. Рот косой, мощные губы и челюсти хорошо развиты. Держится у поверхности воды.

Верховка - Leucaspius delineatus (Heckel, 1843) – достигает 5-6 см в длину, максимум до 12 см.

Уклейка - Alburnus alburnus (Linnaeus,1758) - достигает длины до 20 см, весом до 60 г.

Результаты

Опыт по созданию успешно функционирующей водной экосистемы был реализован сотрудниками ботанического сада им Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета, которыми на территории Ботанического сада была создана экспозиция «Прибрежно–водные и водные растения природной флоры ЦЧ», функционирующая с 2010 года по настоящее время (Давыдова и Серикова, 2011).

Экспозиция располагается на участке природной флоры и растительности ЦЧ между коллекцией «Систематикум флоры ЦЧ» и экспозицией «Степи» на ровном, хорошо освещенном участке без уклона, в отдалении от деревьев и кустарников (опавшие листья, ветки способствуют заилению, зарастанию водоема и ухудшению качества воды). К нему примыкает каменистый ландшафт «Сниженных Альп», поэтому водоем защищен от ветра. Проектируемый водоем имеет форму прямоугольного треугольника неправильных очертаний с гипотенузой около 5 м, шириной 3 м, длиной 4,5 м, глубиной 1 – 1,2 м. Площадь водного зеркала – 8 м². Глубины более 1,5 м для декоративных водоемов нецелесообразны – вода на такой глубине недостаточно прогревается для нормального роста и развития водных растений (Давыдова и Воронин, 2014; Давыдова и др., 2015). Береговая линия достаточно ровная. Западная сторона представляет собой отвесный обрыв, восточная сторона имеет форму уступов (террас), представляющими собой микроэкотопы, соответствующие экологии высаживаемых видов.

А **Б**

Рис. 1. Облик малого искусственного водоем Центрального Воронежского парка до момента реализации проекта и после. (А - Современный облик пруда,Б - Измененный облика пруда с использованием прибрежно-водной растительности)

Выводы

На основе знания структуры природного сообщества, состава и биологических особенностей его компонентов был создан искусственный фитоценоз с основными элементами водной и околоводной флоры природных водоемов. Флора экспозиции - 20 видов из 18 семейств: аир болотный (*Acorus calamus*), рогоз широколистный (*Typhalati folia*), рогоз узколистный (*T. angustifolia*) частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica*), касатик болотный (*Iris pseudacorus*), белокрыльник болотный (*Calla palustris*), калужница болотная (*Caltha palustris*), пузырчатка обыкновенная (*Utricularia vulgaris*), водокрас лягушачий (*Hydrocharis morsus-ranae*), кубышка желтая (*Nuphar lutea*) кувшинка белая (*Nymphaea alba*), рдест плавающий (*Potamogeton natans*), рдест пронзеннолистный (*P. perfoliatus*) и др (Давыдова и др., 2015; Давыдова и Серикова, 2016; Давыдова, 2017).

Имеющийся опыт по созданию искусственных водоемов обеспечивает успешное применение рекомендаций по восстановлению естественной водной экосистемы малого искусственного водоема Воронежского центрального парка г. Воронеж.

На рисунке 1 представлен водоем без высшей водной растительности до момента реализации будущего проекта и после восстановления его экосистемы.

Список литературы

Давыдова Н.С. Растительные сообщества побережий искусственных водоемов Воронежской области / Н.С. Давыдова // Актуальные проблемы ботаники и экологии: матер.междунар. конф. молодых ученных. – Симферополь: ВД «АРІАЛ», 2010. – С. 195-196.

Давыдова, Н.С. Проект создания экспозиции "Водные и прибрежно-водные растения природной флоры" как декоративного элемента ландшафтной архитектуры в Ботаническом саду ВГУ / Н.С. Давыдова, В.И. Серикова // Ботанические сады в современном мире: теоретические и прикладные исследования: материалы всерос. науч. конф. с междунар. участием, 5-7 июля 2011 г., М. — М., 2011. — С. 155-158.

Давыдова Н.С. Основные этапы формирования экспозиции "Растения открытых водоемов природной флоры" в ботаническом саду ВГУ / Н.С. Давыдова, А.А. Воронин // Особо охраняемые природные территории. Интродукция растений - 2014: материалы заочной международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 25 июня 2014 г.). — Воронеж, 2014. — С. 101-108.

Экспозиции природной флоры как декоративный элемент ландшафтной архитектуры в ботаническом саду ВГУ / Н.С. Давыдова, В.И. Серикова, А.А. Воронин, Б.И. Кузнецов // Ландшафтная архитектура в ботанических садах и дендропарках: материалы 7 международной научной конференции, 29 июня - 02 июля 2015 г., Переславль-Залесский. — Ярославль, 2015. — С. 33-35 .

Давыдова Н.С. Использование цветочно-декоративных растений водных и прибрежно- водных фитоценотипов в ландшафтном дизайне / Н.С. Давыдова, В.И. Серикова, Е.В. Моисеева // Цветоводство: История, теория, практика: материалы 7 международной научной конференции 24-26 мая 2016г., Минск. – Беларусь. – С. 96-98.

Давыдова Н.С. Научные особенности ландшафтной экспозиции прибрежно-водные растения / Н.С. Давыдова // Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития: международная научно-практическая конференция, Воронеж, Россия, 06-07 сентября 2017 г. — Москва, 2017. — С. 34-35.

Давыдова Н.С.Водные и прибрежно-водные фитоценотипы, используемые в ландшафтном дизайне / Н.С. Давыдова, В.И. Серикова // Современная экология: образование, наука, практика: материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 4-6 октября 2017 г.). — Воронеж, 2017. — Т. 1. - С. 265-269 .

Recommendations for the restoration of the natural aquatic ecosystem of the small artificial reservoir of the Voronezh central park

***Davydova N. S.*, Serikova V. I.**

Botanical garden by the name of professor B.M. Kozo-Polyansky of Voronezh state university, Voronezh, Russia

russia1307@yandex.ru

Abstract: Problems of deterioration of water quality of an artificial pond in Voronezh Central Park are considered. Recommendations for the reconstruction of fabricated pond to change this situation are provided. A project of modeling natural aquatic ecosystem are presented.

Keywords: pond, ecosystem, quality, aquatic and semi-aquatic plants.

Оценка эмерджентных свойств водных объектов: трофический статус, устойчивость, экологическое благополучие

Дмитриев В.В. [1], ***Пряхина Г.В.*** [1], ***Огурцов А.Н.*** [1], ***Примак Е.А.*** [2], ***Амаро Медина Д.Р.*** [1]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
[2]*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург*
v.dmitriev@spbu.ru

Аннотация: рассматриваются теоретико-методологические положения и опыт применения ASPID - и APIS - методологий в оценке эмерджентных свойств водных объектов. Разработаны аксиология, аксиометрия, методы, модели-классификации интегральной оценки трофического статуса, качества воды, устойчивости водоемов и водотоков, экологического благополучия водных объектов. Рассматриваются вопросы построения многоуровневых и многокритериальных моделей-классификаций эмерджентных свойств (трофический статус, устойчивость, благополучие), этапы и результаты оценочных исследований. Представления об экологическом статусе (ЭС) формируются на основе исследования способности водной экосистемы продуцировать органическое вещество, оценке качества воды с позиции биоцентризма или антропоцентризма (или совмещения подходов) и устойчивости водного объекта к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Представление об экологическом благополучии (ЭБ) водного объекта формируются на основе аксиологического подхода с позиции биоцентризма или антропоцентризма или совмещения подходов. Предложены критерии и оценочные шкалы, положенные в основу интегрального оценивания. Разработаны подходы к учету приоритетов (весов) при свертке показателей для разных уровней свертки. Эти подходы учитывают приоритеты в оценке с позиции «водной экологии» (биоцентризм) или «гидроэкологии» (антропоцентризм). Аксиология, геоэкологический анализ и геоситуационный подход позволяют объединить все подходы. Обсуждаются авторские определения основных терминов. Приводятся примеры выбора репрезентативных критериев, этапы и результаты оценочных исследований. Построение интегральных показателей трофности рассмотрено на примере морских и внутриконтинентальных водоемов Арктической зоны России (АЗР) и Северо-Запада РФ. Рассматриваются механизмы формирования устойчивости для водоемов и водотоков, обусловливающие рассмотрение двух основных типов устойчивости: 1-адаптационный (водоемы) и 2-регенерационный (водотоки). Построение интегральных показателей устойчивости рассмотрено на примере водных объектов Севера и Северо-Запада РФ. Рассматривается аксиология и аксиометрия, модели интегральной оценки ЭС и ЭБ водоемов на примере малых озер северо-западного Приладожья, озер Северо-Запада РФ. Рассматриваются модели интегральной оценки ЭБ системы «водоток-водосбор» и результаты интегральной оценки ЭБ для гипотетических районов и реальных ключевых геосистем с позиций биоцентризма и антропоцентризма.

Ключевые слова: водный объект, интегральная оценка, трофический статус, устойчивость, экологический статус, экологическое благополучие.

Введение

Развитие оценочных исследований простых (аддитивных) и сложных (неаддитивных, эмерджентных) свойств водных экосистем в наши дни сопровождается использованием методов интегрального оценивания состава и свойств природных (водных) объектов. При этом, часто, выполненная свертка показателей рассматривается как самоцель экологического исследования на том основании, что индексология и индикаторный

подход в наши дни используются для получения и обоснования «целевых индикаторов», характеризующих объекты исследования, их трансформацию и развитие, для выявления естественной или антропогенной составляющих в общих изменениях. Покомпонентный анализ сложных систем и их свойств уже не может служить общеметодологической основой исследования сложных природных и общественных систем. Это обусловливает переход к методам многокритериального и интегрального оценивания и является подтверждением развития «цифровизации» в науках о Земле и экологии. На одном из научных семинаров в СПбГУ в конце 2017 г. д. филос. н., проф. Г.Л. Тульчинский предложил следующее определение этого термина: «цифровизация = разработка и использование технологий, основанных на идеях дискретности, алгоритмичности, вычислимости, программируемости (то, что определяет облик современной цивилизации: компьютерные технологии, информационно-коммуникативные технологии, …)». Чтобы продемонстрировать «обаяние» нового термина, по сути, носящего деятельностный, менеджерский характер, но с модным уклоном в сторону предметной области, автор предложил определение «социально-культурного инжиниринга» (СКИ): «СКИ = систематизация знаний, практик разработки, экспертизы и реализации проектов, связанных с преобразованием социальной реальности, социализацией личности». Отметим, что в России термины «инжиниринг», «инженерия», «инженерная деятельность», чаще всего, являются синонимами. Их связывают с организацией процессов создания пакета предпроектной и проектной документации, получения данных, отражающих результаты инженерных изысканий, и оформления документации, сопровождающей различные этапы и процедуры этой деятельности.

Следуя этому определению, для системы «водный объект – человек (общество)» можно предложить термины «гидрологический инжиниринг» (ГИ), «гидроэкологический инжиниринг» или «гидролого-экологический инжиниринг» (ГЭИ). Например: ГИ = систематизация знаний, практик разработки, экспертизы и реализации проектов, связанных с преобразованием и управлением водными объектами. Или с акцентом на антропоцентризм: ГЭИ - систематизация знаний, практик разработки, экспертизы и реализации проектов, связанных с преобразованием и управлением водными объектами и отношениями в системе «водный объект – человек (общество)». Для системы «водный объект – организмы-гидробионты» (биоцентризм) возможен и «водно-экологический инжиниринг» (ВЭИ): систематизация знаний, практик разработки, экспертизы и реализации проектов, связанных с преобразованием и управлением водными объектами и их экосистемами.Акцент исследований смещается на использование при анализе сложных систем в природе и обществе новых обобщений, характеризующих состояние сложной системы в целом и ее интегративные (эмерджентные) свойства. Речь идет о новых функциональных единицах систем (интегральных показателях подсистем и интегральных показателях последнего уровня свертки, характеризующего целостность системы, которые будем называть сводными показателями). Эти показатели отражают интегративность систем, они должны являться основой их систематики, и позволяют сравнивать состояние систем в пространстве и времени или выявлять эффекты взаимосвязи и взаимодействия систем (подсистем), не аддитивные по отношению к внутрисистемным эффектам. Эти показатели имитируют эмерджентные свойства или т.н. «системные эффекты» за счет современных технологий учета многокритериальности и типа связи отдельных критериев с оцениваемым свойством (прямая, обратная, линейная, нелинейная), введения подсистем и многоуровневости получения оценок; возможности моделирования приоритетов или «весовых множителей», отражающих смысловой акцент важности отдельных критериев и подсистем. Так проявляется объективная возможность не только учитывать неполную, неточную, нечисловую информацию (т.н. *ннн-информацию*) при получении интегральных

показателей, но и при необходимости изменять акценты или характер субъект-объектных отношений (биоцентризм, антропоцентризм и др.). Важно, что построение сводных показателей сопровождается оценкой точности и достоверности полученных оценок. Полученная информация, представленная на основе ГИС в виде элементов баз знаний о составе, свойствах, структуре, трансформации сложных систем в пространстве и времени, является удобной и наглядной формой обобщения, систематизации знаний, практик разработки, экспертизы и реализации проектов, связанных с трансформацией и преобразованием сложных систем в природе (или природе и обществе).

Материалы и методы

В основе построения интегральных показателей лежат авторские разработки анализа и синтеза показателей в условиях информационного дефицита. В качестве методов рекомендуются: метод рандомизированных сводных показателей (МРСП) и его современная версия «APIS» (Aggregated Preference Indices System) – агрегированная система индексов предпочтения на базе «АСПИД - методологии» - методология анализа и синтеза показателей при информационном дефиците (Хованов, 1996; Hovanov N., Hovanov K., Yudaeva M., 2009; Александрова и др., 2000). Процесс организации многоуровневого построения интегральных показателей рассматривался нами в большом количестве публикаций. В 2017 г. вышла обобщающая статья по итогам различных исследований последних лет (Дмитриев, Огурцов, 2017). Алгоритм построения интегральных показателей состояния или эмерджентного свойства водного объекта (ЭСВО) приведен на рис.1.

Остановимся на дискутируемом в последнее время положении, важном для дальнейших этапов работы, которое связано с проверкой адекватности полученных результатов интегрального оценивания. При традиционном подходе - балльной и балльно-индексной оценке ЭСВО (например, устойчивости) исследователи, суммируя индексы и переходя к разрядам, а затем к баллам, в итоге получают класс (и подкласс) устойчивости. Отнесение к определенному классу устойчивости является завершающим этапом работы и позволяет выявлять более или менее устойчивые водные объекты и анализировать пространственно-временные изменения устойчивости водоемов и водотоков (Оценка состояния, 1992). Такой подход, по мнению некоторых авторов, является результатом косвенной оценки устойчивости, поскольку любое эмерджентное свойство в принципе не может быть измерено. При этом попытка перейти на другие методы инициирует вышеупомянутый вопрос о достоверности тех или иных полученных результатов.

Здесь важно отметить, что цифровая форма выражения ЭСВО через интегральный показатель, с одной стороны, не должна смущать исследователя, поскольку она не только помогает, как и в случае с балльной оценкой, отнести интегральный показатель устойчивости (ИПУ), к определенному классу с указанием точности выполненных расчетов, но, с другой стороны, и не противоречит исходному тезису «эмерджентность сложной системы нельзя измерить». Не имеет смысла сравнивать ИПУ двух объектов по самим величинам интегральных показателей, тем более, если для их построения использовался разный набор характеристик или были по-разному заданы приоритеты (веса) отдельных показателей. Результатом оценки все равно остается отнесение объекта (системы) к определенному классу устойчивости. В этом случае не оправданной остается идея использовать в расчетах интегральных показателей региональную специфику, сохранив в качестве базового, определенный набор основных характеристик и добавив параметры, отражающие региональную специфику.

Результаты

1. Интегральная оценка трофического статуса водоемов. Интегральная оценка продукционных свойств водоемов для озер северо-западного Приладожья (оз.Суури) в 2017 г. показала, что данный водоем при покомпонентном оценивании имел следующее соотношение признаков олиго:мезо:эвтрофии = 4:3:2. По величине интегрального

показателя (ИПТ=0,28) водоем попадал в левую границу мезотрофного класса при ширине интервала класса 0,20-0,46. В 2016 г. по величине интегрального показателя трофности (ИПТ), рассчитанного для 2014-2016 гг. трофический статус озера по средней величине интегрального показателя был отнесен к середине класса мезотрофных вод (ИПТ=0,29) при ширине интервала класса от 0,14 до 0,34. В 2010-2013 гг. по величинам ИПТ от 0,26 до 31, рассчитанных по 4 параметрам трофический статус озера был определен как мезотрофный при ширине интервала класса 0,14-0,34.

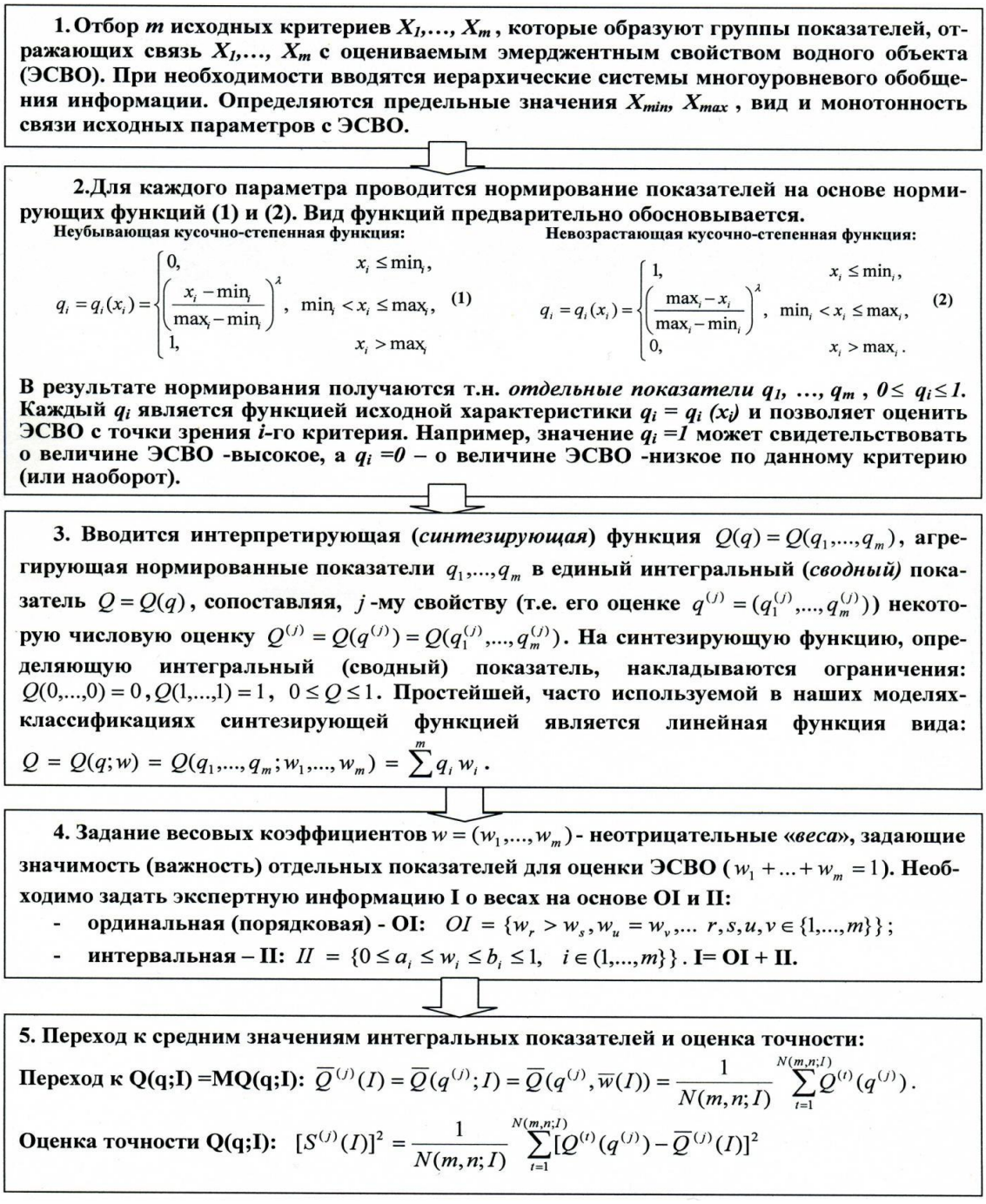


Рис. 1 Алгоритм получения интегрального показателя эмерджентного свойства водного объекта (ЭСВО)

Интегральная оценка трофности Северного, Центрального, Южного районов Невской губы восточной части Финского залива выполнена по материалам натурных наблюдений 2000-2010 гг по 4 параметрам. На основе данных Росгидромета были рассчитаны среднегодовые значения показателей трофности для Северного (по 7 станциям.), Центрального (по 8 станциям), Южного (по 7 станциям) районов. Выявлены характерные особенности изменения интегральных показателей трофности в районах. Для Северного района ИПТ изменялись от 0,36 (2000) до 0,38 (2010), таким образом, выявлена тенденция незначительного роста ИПТ за 10 лет (6,5%) в пределах класса мезотрофных вод (границы класса – от 0,19 до 0,60). Все значения ИПТ относятся к середине класса. Для Центрального района ИПТ изменялись от 0,36 (2000) до 0,40 (2010). Также выявлена тенденция незначительного роста ИПТ за период 2000-2005 год и незначительного снижения ИПТ к 2010 году. Полученные значения также находятся в пределах класса мезотрофных вод. Для Южного района ИПТ изменялись от 0,45 (2000) до 0,46 (2010). Выявлена тенденция незначительного роста ИПТ за период 2000-2005 год и снижения ИПТ к 2010 году, все значения ИПТ находятся в пределах класса мезотрофных вод.

Интегральная оценка трофического статуса морских акваторий АЗР выполнялась для 2005-2012 гг. ИПТ района шельфа моря Лаптевых рассчитывались по 6 параметрам для периода 2005-2006 гг. По величине ИПТ=0,16 акватория отнесена к классу олиготрофных водоемов (ширина интервала 0,00-0,27). Интегральная оценка трофического статуса для трех районов Карского моря, выполненная по 5 параметрам для 2007-2012 гг также позволила отнести исследованные районы к олиготрофному классу.

2. Интегральная оценка устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Различные методы и модели апробированы для водных объектов севера и северо-запада РФ по наблюдениям 2003–2004 гг (Примак, 2009). Рассматривалась адаптационная устойчивость к изменению параметров режимов. Рассчитаны различные интегральные показатели устойчивости для 13 озер. В расчетах высокая адаптационная устойчивость характеризовалась значениями интегральных показателей (ИПУ) близкими к 1,0, низкая – близостью к 0,0. Для характеристики устойчивости к изменению параметров естественного режима (Уе) (потенциальная устойчивость) использовались данные по группе физическо- географических характеристик: морфометрии, климату, гидрологическому режиму. Для характеристики устойчивости к изменению антропогенного режима использовались данные по изменению трофического статуса водоемов (антропогенному эвтрофированию) (Уэ) или по изменению качества воды (Ук). На втором уровне свертки оценивался совместный эффект Уе+Уэ или Уе+Ук. Самыми уязвимыми к изменению параметров естественного (6 параметров) и антропогенного (4 параметра) режимов при разном задании приоритетов оценивания оказались относительно крупные и наиболее чистые водоемы: Топозеро и Пяозеро – IV класс устойчивости. Наиболее устойчивыми из рассмотренных озер оказались оз. Ильмень и Чудско-Псковское озеро, III класс устойчивости. Озера европейского севера по совокупности критериев охарактеризованы как «средне устойчивые» (III класс) и «устойчивые ниже среднего» (IV класс). Интегральная оценка устойчивости отдельных районов (6 районов) Ладожского озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов показала, что ни один район, ни озеро в целом не обладают максимальной устойчивостью к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Наиболее уязвимым оказался северный прибрежный район озера (IV класс). Самым устойчивым – южный прибрежный район (III класс). Озеро в целом оценивается как «средне устойчивое» III класс (левая граница). Сделан вывод о том, что при данном подходе высокая устойчивость водоема (района) *a priori* не обусловливает его экологического благополучия или высокого качества абиотической среды и биоресурсов. Высокая адаптационная устойчивость в целом может быть обусловлена различными группами параметров естественного режима (например, значительными

размерами водоема) и антропогенного режима, характеризующего качество воды или степень антропогенного эвтрофирования водоема. Исследование адаптационной устойчивости целесообразно для длительных периодов развития водоемов, характеризующихся постепенной утратой своих свойств и изменением параметров режимов, и постепенным переходом в другие классы состояния и устойчивости. При построении ИПУ водотоков использовались модели-классификации второго типа оценки устойчивости (регенерационная).

3. Интегральная оценка экологического статуса (ЭС) и экологического благополучия (ЭБ) водоемов, водотоков, систем «водоток-водосбор». Вводятся понятия «экологический статус» (ЭС) водоема (водного объекта) и экологическое благополучие водного объекта (ЭБ) с позиций био-(эко)центризма и антропоцентризма. В био-(эко)центристском определении акцентируется использование водного объекта для жизни организмов-гидробионтов или для сохранения экосистемы в целом, в антропоцентристском подходе – способность системы выполнять социально-экономические функции без нарушения функций жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводства). При рассмотрении ЭС нами учитывались: трофический статус водоема или способность продуцировать органическое вещество первичными продуцентами, качество воды с позиций био-(эко)центризма, устойчивость системы. Таким образом, допускалось, что одно эмерджентное свойство может определять другое или влиять на него. В последнее время, в основном в переводной литературе или у неспециалистов участилось определение ЭС на основе термина «экологическое качество воды». Встречается даже термин «хорошее экологическое качество» (буквальный перевод с английского). В связи с этим отметим, что Европейская Рамочная Водная Директива (Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy) была принята в 2000 г. Этот документ регламентирует подходы к политике охраны, использования и управления водными ресурсами с целью к 2015 г. гармонизировать и унифицировать подходы стран ЕС к управлению водными ресурсами и их охране. Остается сожалеть, что в такой форме в РФ акцентируется биоцентризм (экоцентризм) в оценке качества воды и состоянии экосистемы. Акцент на методы биологического контроля качества воды, принятый в Европе использующийся в данных исследованиях, активно развивается в последние годы и в РФ, их одновременное использование с методами гидрохимического анализа качества дает более надежные результаты. Основная цель Директивы — достижение экологического благополучия или высокого экологического статуса (в переводных изданиях пишут «хорошего экологического статуса») для всех водных систем. Основой экологического статуса водного объекта в этих изданиях объявляется «экологическое качество воды» и даже «хорошее экологическое качество воды» (см. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. «Экологическое качество поверхностных вод», Минск, «Беларуская навука», 2010, 329 с). Под термином «экологическое качество воды» понимают «структуру и функционирование сообществ водных организмов, которое отражает состояние водных масс». По нашему мнению, надо было написать «экологическое состояние водного объекта» или «химический и биологический состав воды и её физические свойства, обусловливающие использование водного объекта как среды жизни организмами – гидробионтами».

В нашем представлении ЭС отличается от ЭБ природного объекта. Для термина ЭБ на основе аксиологического подхода нами предлагались различные определения. Например, под экологически благополучной природной системой понималась система, способная продуцировать органическое вещество, выполнять социально-экономические функции без нарушения функций жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводства), являющаяся разнообразной по составу биоты, чистой (по химическому составу воды и

гидробиологическим критериям качества воды), устойчивой к изменению параметров естественного и антропогенного режимов, способной к самоочищению, обладающей способностью сохранять названные свойства и функции достаточно долго в изменяющихся условиях среды и жизни организмов. В данном определении сделана попытка объединить био- и антропоцентризм в подходе к исследованию ЭБ. Понятно, что разная аксиология ЭБ будет обусловливать разную аксиометрию и порождать разные модели-классификации интегральной оценки ЭБ.

Рассмотрены примеры оценки ЭБ системы «река-водосбор» с учетом равновесомости задания параметров оценивания и неравновесным заданием на последнем (втором) уровне свертки. Оценка выполнялась в 2 этапа. На первом этапе с позиций био- или антропоцентризма выполнялись расчеты ИПЭБ для водотока (реки), на втором этапе выполнялись расчеты ИПЭБ для водосбора. Рассмотрим вариант оценки ЭБ с позиции биоцентризма. В перечень групп для водотока вошли: 1-морфометрия; 2-климат; 3-гидрология; 4-гидрохимия; 5-гидробиология; 6-самоочищение; 7-риски и устойчивость. Всего 33 параметра. В перечень групп для водосбора вошли: 1-климат; 2-качество и загрязнение атмосферного воздуха; 3-качество и загрязнение почв; 4-потенциальная устойчивость геосистем; 5-ланшафтное разнообразие; 6-устойчивость почв. Всего 31 параметр. Рекогносцировочные расчеты ИПЭБ, выполненные для р.Мста и ее водосбора при равновесомости критериев на первом и втором уровнях свертки позволили оценить ИПЭБ реки=0,25 (II класс «выше среднего») при интервале ИПЭБ для класса 0,18-0,33; ИПЭБ водосбора =0,25 (II класс «выше среднего») при интервале ИПЭБ для класса 0,23-0,36. В целом сделан вывод о том, что высокое ЭБ водосбора с позиции биоцентризма (II класс) обусловило высокое «здоровье экосистемы реки» или высокое ЭБ водотока.

Выводы

Изложены основы аксиологии и некоторые результаты многолетних исследований интегральной оценки состояния и эмерджентных свойств водных объектов с использованием методик анализа и синтеза показателей при информационном дефиците. ASPID и APIS методики используются в качестве основы для решения большого числа проблем и проектов гидрологического и гидроэкологического инжиниринга, при решении прикладных задач в рамках инженерно-экологических изысканий и фундаментальных исследований. На основе полученных интегральных оценок, на базе ГИС реализуются анализ и районирование акваторий и территорий.

Исследования выполнялись при поддержке РФФИ (проект 16-05-00715-а).

Список литературы

Александрова Л.В., Васильев В.Ю., Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Огурцов А.Н., Третьяков Н.В., Хованов Н.В. Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. Под ред. В.В. Дмитриева и Н.В. Хованова. Деп. ВИНИТИ 01.09.2000, № деп.2342В00, 275 с.

Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Устойчивость сложных систем в природе и обществе: методология, оценка, результаты. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 48. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2017: 72-84

Оценка состояния и устойчивости экосистем / В.В. Снакин, В.Е. Мельченко, Р.О. Бутовский и др. – М.: ВНИИприрода, 1992: 127 с.

Примак Е.А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов. Автореф. канд. дисс. по спец. 25.00.36 - Геоэкология, РГГМУ, СПб, 2009, 24 с.

Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996: 196 с.

Hovanov N., Hovanov K., Yudaeva M. Multicriteria estimation of probabilities on basis of expert non-numeric, non-exact and non-complete knowledge. European Journal of Operational Research. 2009. 195(3), pp 857-863.

Estimation of emergent properties of water bodies: trophic status, sustainability, ecological well-being

***Dmitriev V.V.*[1], Pryakhina G.V.[1], Ogurtsov A.N.[1], Primak E.A.[2], Amaro Medina D.R.[1]**
[1]*St. Petersburg State University, St. Petersburg*
[2]*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg*
v.dmitriev@spbu.ru

Abstract: Theoretical and methodological positions and experience of applying ASPID - and APIS - methodologies in the estimation of emergent properties of water objects are considered. Axiology, axiometry, methods, model-classification of integral assessment of trophic status, water quality, stability of water bodies and streams, ecological well-being of water objects have been developed. The questions of construction of multilevel and multi-criteria models-classifications of emergent properties (trophic status, stability, well - being), stages and results of evaluation studies are considered. Representations of the ecological status (ES) are formed on the basis of a study of the ability of the aquatic ecosystem to produce organic matter, assess water quality from the position of biocentrism or anthropocentrism (or combination of approaches) and the stability of the water body to change the parameters of natural and anthropogenic regimes. The idea of the ecological well - being (EB) of a water body is formed on the basis of an axiological approach from the standpoint of biocentrism or anthropocentrism or a combination of approaches. The criteria and evaluation scales that form the basis of the integral estimation are proposed. Approaches to the calculation of priorities (weights) for the convolution of indicators for different convolution levels have been developed. These approaches take into account the priorities in the assessment from the standpoint of "aquatic ecology" (biocentrism) or "hydroecology" (anthropocentrism). Axiology, geoecological analysis and geosituational approach allow to unite all approaches. Author's definitions of the main terms are discussed. Examples of selection of representative criteria, stages and results of evaluation studies are given. The construction of integral indicators of trophicity is examined using the example of marine and inland water bodies of the Arctic zone of Russia (APR) and the North-West of the Russian Federation. The mechanisms of the formation of stability for water bodies and watercourses are considered, which determine the consideration of two main types of stability: 1-adaptation (reservoirs) and 2-regeneration (watercourses). The construction of integrated indicators of sustainability is examined using the example of water objects in the North and North-West of the Russian Federation. Axiology and axiometry, models of integral estimation of ES and EB of reservoirs on the example of small lakes of the northwestern Ladoga lakes, lakes of the Northwest of the Russian Federation are considered. The models of the integral estimation of the EH of the watercourse-catchment system and the results of an integrated assessment of EH for hypothetical areas and real key geosystems from the standpoint of biocentrism and anthropocentrism are considered.

Keywords: water body, integral estimation, trophic status, stability, ecological status, ecological well-being.

Анализ чувствительности различных методов оценки качества воды водных объектов при изменении перечня контролируемых показателей

***Ерина О.Н.*, Ефимова Л.Е., Заславская М.Б.**
МГУ имени М.В.Ломоносова, г.Москва
tamiblack@yandex.ru

Аннотация: В данной работе приводятся результаты анализа чувствительности методов оценки качества воды к количеству учитываемых показателей. В качестве тестовых объектов использованы данные наблюдений за химическим составом и загрязненностью рек Норильского гидрологического района, испытывающих серьезную антропогенную нагрузку. Оценка проводилась для нормативно закрепленного в Российском законодательстве удельного комбинаторного индекса загрязненности вод (УКИЗВ) и рекомендованного для использования ООН канадского индекса качества воды (CCME WQI). Для обоих индексов использовался одинаковый набор показателей из обязательного перечня методики расчета УКИЗВ. При расчетах производили последовательное исключение от 1 до 10 показателей, были проведены оценки для всех комбинаций исключаемых параметров.

Результаты расчетов показали, что наибольшую чувствительность обе методики проявляют к учету критических показателей загрязненности – тех компонентов химического состава, для которых наблюдается максимальное стабильное превышение нормативов качества воды. При этом исключение до 5-7 показателей, не относящихся к специфическим загрязнителям, характерным для данного водного объекта, позволило отнести воду в 80% водных объектов к тому же классу, что и при расчете по оригинальным методикам.

Сопоставление чувствительности избранных методик дало близкие результаты. Расхождения при исключении различного количества параметров между получаемыми оценками не превышали 10%. При этом индекс CCME WQI не имеет ограничений по перечню используемых показателей.

Проведенное исследование свидетельствует о возможности исключения показателей из обязательного перечня согласно методике УКИЗВ. Это может позволить оптимизировать региональный мониторинг качества поверхностных водных объектов с получением адекватных оценок.

Ключевые слова: Качество воды, параметризация, экологическое состояние, анализ чувствительности, загрязнение водных объектов

Введение

Все существующие методы оценки качества воды, как разработанные и нормативно закрепленные в Российском законодательстве, так и применяемые в других странах мира, имеют свои ограничения. Так, в большинстве классификаций оговаривается минимальный необходимый для расчета перечень учитываемых показателей химического состава воды, а в наиболее комплексных схемах параметризации – и минимальное количество проб воды, учитываемое при расчете. Однако, при оценке качества воды, особенно в контексте изучения многолетних изменений, часто встречаются ситуации, когда условия применения той или иной методики не могут быть соблюдены, в первую очередь из-за отсутствия регламентируемого набора контролируемых показателей. Так, при расчете удельного комбинаторного индекса загрязненности вод (УКИЗВ), являющегося в настоящее время единственным действующим методом классификации качества воды на территории Российской Федерации, обязательный перечень учитываемых компонентов

состоит из 15 показателей, не все из которых определялись на постах Росгидромета в различные периоды проведения мониторинга качества воды. При этом ни в Методических указаниях по расчету УКИЗВ, ни в литературе не встречаются работы, посвященные исследованию достоверности получаемых оценок загрязненности поверхностных вод при нарушении требований к списку компонентов химического состава, используемых при параметризации.

Материалы и методы

Оценка чувствительности методов параметризации качества воды была проведена на примере водных объектов Норильского гидрологического района. Норильский гидрологический район характеризуется как длительностью ряда гидролого-гидрохимических наблюдений, так и большим диапазоном пространственно-временной изменчивости параметров качества воды (Заславская и Лапина, 2008). В исследовании использованы результаты мониторинга поверхностных водных объектов – приемников сточных вод, организованных испытательным экоаналитическим центром контрольно-аналитического управления Заполярного филиала ОАО «ГМК Норильский никель» за 2001–2003 гг. Данные о химическом составе водных объектов включали 27 показателей: 15 из обязательного Перечня, а также 12 дополнительных компонентов химического состава воды, в том числе специфических загрязнителей антропогенного происхождения.

Проверка чувствительности проводилась для двух методов, признанных наиболее эффективно оценивающими качество воды в водных объектах – УКИЗВ (Методические…, 2002) и канадского индекса CCME WQI (Hurley et al, 2012; Rosemond et al, 2009). В рамках исследования производились расчеты индексов при последовательном исключении от одного до 10 показателей из обязательного Перечня. Были проведены оценки для всех комбинаций исключаемых параметров, значения индексов и классы качества сравнивались с оценками, полученными при расчете в строгом соответствии с оригинальными методиками.

В сумме было проведено по 30826 тестовых расчетов величины УКИЗВ и канадского индекса CCME WQI для 24 расчетных створов.

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов чувствительности используемых методов оценки качества воды к перечню учитываемых компонентов показали, что при исключении 1 или 2 показателей значения УКИЗВ меняются в среднем на 5–6%. При этом изменение класса качества происходит в 21-25% случаев и касается в основном наименее загрязненных водных объектов. Так, истоки рек Далдыкан, Купец и Хараелах, характеризовавшиеся 2 классом качества, стали относиться к 1 классу, а гидроэкологическое состояние в них согласно разработанной авторами шкале параметризации (Алексеевский и др., 2015; Ерина и др., 2017) стало характеризоваться как «норма».

Наименьшую чувствительность к количеству исключаемых показателей из обязательного перечня обнаружили водные объекты, характеризующиеся 4 и более критическими показателями загрязненности. Так, в устьевых створах в р.Н.Наледная и р.Щучья не произошло изменения класса качества воды согласно величине УКИЗВ, а изменения в самом значении индекса не превышали 6% (таб.1). В воде в данных пунктах обнаруживается 5 критических показателей загрязненности, а класс качества воды определен как 4.

В общем случае, наиболее существенное изменение величины УКИЗВ происходит при исключении 9 и более параметров из обязательного перечня. Изменения класса качества при исключении 10 показателей произошли в 67% тестируемых пунктов наблюдений, примерно в половине случаев различия достигали 2 классов.

Результаты расчетов подтвердили гипотезу о том, что ключевое влияние на класс качества воды оказывают критические показатели загрязненности (КПЗ) – те компоненты, по которым в среднем за расчетный период наблюдается превышение ПДК более, чем в 9 раз. Для большинства водных объектов Норильского гидрологического района к таким показателям относятся никель, медь, сульфаты и аммоний. Так, если в среднем при исключении 4 показателей значения УКИЗВ изменяются на 2,5–13,4%, то в случае исключения перечисленных 4 компонентов отклонения могут достигать 68% (рис.1).

Табл. 1. Отклонения значений УКИЗВ (в %) от рассчитанных по оригинальной методике при исключении различного количества показателей

№	Водный объект - пункт наблюдений	Количество исключаемых показателей									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	оз. Кыллах-Кюэль	4	5	5	4	5	9	18	19	22	35
2	оз. Подкаменное	5	7	9	7	9	12	14	13	17	9
3	оз. Тихое	7	7	10	10	9	11	10	11	14	41
4	р. Амбарная, исток	7	8	9	11	9	9	11	12	16	48
5	р. Амбарная, устье	5	7	7	6	6	6	7	7	14	28
6	р. Буровая, после хвостохранилища НМЗ	4	4	8	7	5	9	8	8	9	11
7	р. Далдыкан, исток	7	9	11	11	11	13	12	12	20	52
8	р. Далдыкан, устье	4	5	7	7	7	4	6	7	12	23
9	р. Ергалах, исток	7	8	9	9	9	9	12	13	24	59
10	р. Ергалах, устье	7	8	10	10	9	9	12	13	35	65
11	р. Купец, исток	7	8	10	10	11	13	13	13	15	44
12	р. Купец, устье	3	4	6	6	5	5	7	7	10	20
13	р. Новая Наледная, исток	4	4	8	8	10	9	9	9	9	9
14	р. Новая Наледная, устье	2	2	2	2	5	4	3	4	5	6
15	р. Талнах, исток	7	8	12	12	10	9	11	12	13	24
16	р. Талнах, устье	4	4	5	5	5	8	10	10	20	33
17	р. Томулах, исток	9	11	13	13	15	11	28	28	34	80
18	р. Томулах, устье	5	6	6	6	8	6	10	11	27	46
19	р. Хараелах, исток	7	8	11	11	11	10	16	17	25	65
20	р. Хараелах, устье (перелив в Хараелахское водохранилище)	7	9	10	10	10	11	11	12	22	54
21	р. Щучья, исток (руч. Медвежий)	6	6	8	7	8	10	10	10	9	14
22	р. Щучья, исток (руч. Каскадный)	5	5	5	5	6	6	7	7	13	31
23	р. Щучья, исток (руч. Угольный)	3	3	3	3	4	4	4	5	7	12
24	р. Щучья, устье	2	3	3	3	5	4	4	4	4	4
25	***Среднее***	5	6	8	8	8	8	10	11	16	34

По осредненным данным только в 21% створов происходит смена класса качества, а различия с оригинальной методикой не превышают 1 класса. При исключении 4 критических для данного района показателей загрязненности уже в 54% случаев наблюдаются изменения класса качества, при этом расширяется диапазон этих изменений – в 2 пунктах мониторинга при неучете КПЗ отклонение оценки качества от полученной по нормативно закрепленной методике составляет уже 2 класса.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в оригинальную методику расчета УКИЗВ допустимо внесение изменений по части исключения показателей из указанных в обязательном перечне. Для обоснования исключаемых показателей необходимо для тестового периода определить величину УКИЗВ по оригинальной

методике и выявить критические показатели загрязненности воды, которые должны учитываться при расчете индексов для обеспечения объективных результатов параметризации качества воды. Из остальных компонентов химического состава воды рекомендуется учитывать те, которые комплексно характеризуют состояние водной экосистемы, такие как содержание кислорода, величина $БПК_5$, ХПК и некоторые из соединений азота, например, концентрации нитритов и ионов аммония. Учет этих показателей в совокупности с КПЗ воды и специфическими загрязнителями, характерными для данного объекта, позволит в первую очередь экономически оптимизировать процесс мониторинга за качеством поверхностных водных объектов.

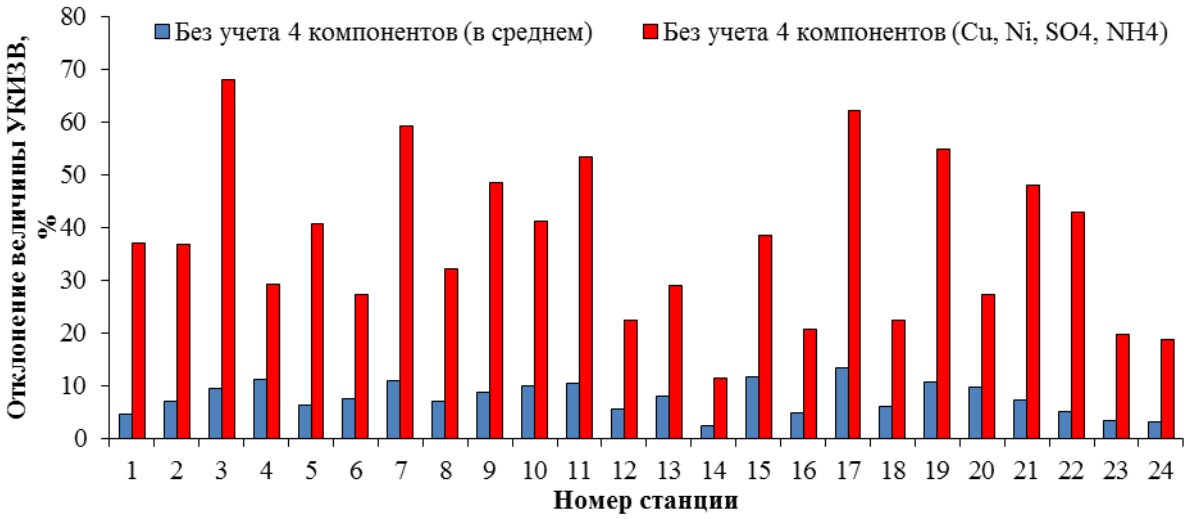


Рис. 1. Отклонения значений УКИЗВ при исключении 4 компонентов из обязательного перечня

Результаты оценки чувствительности канадского метода параметризации качества воды CCME WQI не выявили существенных отличий от российской классификации УКИЗВ, что обусловлено схожими принципами, лежащими в основе их расчета. Ввиду того, что расхождения не превышали 5-10%, а главное – не наблюдалось расхождений между оценками классов качества воды, полученными по этим методикам, все рекомендации по оптимизации перечня учитываемых показателей для метода УКИЗВ, могут применяться и при использовании метода CCME WQI. Канадская методика, однако, не имеет ограничений по числу используемых показателей.

Выводы

Проведенное исследование показало допустимость использования удельного комбинаторного индекса загрязненности вод (УКИЗВ) при отсутствии данных измерений по всем параметрам химического состава воды, включенным в обязательный перечень, за исключением критических показателей загрязненности воды для конкретного расчетного створа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00155).

Список литературы

Алексеевский Н.И., Заславская М.Б., Гончаров А.В. Методические подходы к изучению и параметризации качества воды // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. № 2, 2016: 13-21.

Ерина О. Н., Ефимова Л. Е., Заславская М. Б. Параметризация качества воды водных объектов водораздельного бьефа канала имени Москвы различными методами // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды Международной научно-практической конференции*. Т. 2, 2017: 67-71.

Заславская М.Б., Лапина Е.С. Техногенная трансформация химического состава водных объектов Норильского гидрологического района // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. № 3, 2008: 13-18.

Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям. РД 52.24.643-2002. 2002. 24 с.

Hurley T., Sadiq R., Mazumder A. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality // *Water Research*. №46, 11, 2012: 3544-3552.

Rosemond S.D., Duro D.C., Dubé, M. Comparative analysis of regional water quality in Canada using the Water Quality Index // *Environmental Monitoring and Assessment*. №156, 1–4, 2009: 223-240.

Sensitivity analysis of water quality indices to the number of parameters

Erina O., Efimova L.E., Zaslavskaya M.B.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
tamiblack@yandex.ru

Abstract: The paper presents the results of sensitivity analysis of water quality indices to the number of components. We evaluated the monitoring data of water quality for Norilsk hydrological region characterized by high levels of water pollution. Assessments were made for the specific combinatorial water pollution index (SCWPI), used in Russia, and Canadian water quality index (CWQI). For both indices, we used the same set of components as required for SCWPI method. We were gradually reducing the number of parameters by excluding them from 1 up to 10. Estimates were made for all combinations of the excluded parameters.

The results showed that both indices are most sensitive to the extraction of the specific water pollutants – components indicating the maximum exceedance of water quality standards on a regular basis. At the same time, indices values were quite stable after removing of up to 5-7 other parameters from the dataset, which made possible to classify 80% of the total number of water bodies by the same class of water quality as if based on the full dataset.

Sensitivity analysis of two methods revealed that the differences between SCWPI and CWQI were less than 10% after removing the same number of parameters.

The study's findings indicate the possibility to exclude components from the list required by SCWPI method. This can be used to optimize the regional water quality monitoring system by providing proper results for water quality assessments.

Keywords: Water quality, parametrization, ecological statement, sensitivity analysis, water pollution

The presented research was financially supported by the Russian Science Foundation (grant no. 14-17-00155).

Изучение изменчивости качества вод в районах добычи полезных ископаемых

Ефимов В.А.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
Roxifixat@yandex.ru

Аннотация: Добыча полезных ископаемых открытым способом приводит к существенному изменению качества вод в районе их разработок. Оно выражается в ухудшении органолептических свойств вод, увеличении мутности, а часто и в интенсивном поступлении тяжёлых металлов и токсичных веществ в поверхностные воды. Химическое загрязнение одно из наиболее опасных проявлений антропогенной деятельности, поскольку поллютанты, переносимые в виде взвешенных и влекомых наносов, могут накапливаться в речной системе и оставаться в ней длительное время. Именно поэтому целью представленной работы было изучение форм нахождения и транспорта микроэлементов в водных объектах в районе разработок полезных ископаемых, а также процессов и условий их обмена между этими формами.

В данной работе, для оценки влияния разработок на качество вод и их химический состав, из 144 водных объектов Восточной Сибири и Дальнего Востока РФ были выбраны 4, обеспеченные наибольшим количеством гидрохимических данных. В них был проведён анализ содержания элементов – поллютантов: Be; B; V; Cr; Mn; Fe; Co; Ni; Cu; Zn; As; Mo; Ag; Cd; Pb; Bi; Th; U; Zc; W; Al; Hg; Se, часто превышающих ПДКр в разных частях бассейнов. С помощью натурных данных, а также результатов моделирования геомиграционной моделью Visual MINTEQ оценивалось количество вещества, транспортируемого в составе органических и минеральных комплексов, сорбированного на поверхности частиц взвеси, выпавшего в осадок, а также находящегося в растворённом состоянии. Работы были выполнены для нескольких створов в каждом из речных бассейнов, что позволило проследить изменение концентрации вещества и оценить его накопление в пределах геохимических барьеров.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, геохимическое моделирование, разработки россыпных месторождений, мутность,загрязнение, гидрохимия

Введение

Проблема загрязнения поверхностных вод в результате добычи полезных ископаемых не нова и обнаруживается повсеместно. Система мониторинга качества вод недостаточно совершенна и не всегда может дать адекватные оценки современного гидрохимического режима. Кроме того, в большинстве случаев при мониторинге учитывается химический состав вод и донных отложений, исключая взвешенные наносы и влекомые наносы. При этом в потоке, особенно при значительных объёмах транспорта наносов, постоянно происходит перераспределение элементов - поллютантов между различными формами транспорта. Большая часть поллютанотв транспортируется в составе взвесей. Эти вещества могут легко перейти в растворённую форму при изменении геохимических условий или аккумулироваться в пределах геохимических барьеров.

Косвенным фактором, характеризующим наличие загрязнения вод, является повышенная мутность, шлейфы которой хорошо детектируются и показывают участок преимущественного влияния разработок на качество вод. В бассейнах Амура и Селенги шлейф мутности, ниже участков разработки может достигать 50-70км (Школьный и др. 2017). Частицы взвеси поступают при эрозии отвалов пустой породы и сбросе мутных вод

из илоотстойников. Потоки наносов включают в себя значительные объёмы поллютантов, оставшихся в пустой породе или в донных отложениях илоотстойников.

В районах добычи полезных ископаемых наиболее часто наблюдаются превышения концентраций следующих элементов: Be; B; V; Cr; Mn; Fe; Co; Ni; Cu; Zn; As; Mo; Ag; Cd; Pb; Bi; Th; U; W; Al; Hg; Se (Thorslund et al. 2016). Они поступают на поверхность водосбора, в системы прудов илоотстойников или же напрямую в водные объекты. Взаимодействие между формами транспорта элементов выражается в виде ионного обмена, физической адсорбции и хемосорбции (Чебыкин и др. 2012). Эти процессы контролируются кислотностью среды, концентрацией химических веществ и концентрацией взвеси на которой идет сорбция (Папина, 2001). При этом взвесь разного генезиса может сорбировать ионы микроэлементов с различной скоростью. Кроме того в водоёмах с высоким содержанием органического вещества происходит формирование органоминеральных комплексов. Поллютанты остаются биодоступными, что приводит к их накоплению в живых организмах. Именно поэтому так важен более подробный мониторинг качества вод и прогнозирование чрезвычайных ситуаций, связанных с поступлением загрязнителей в результате природных и техногенных аварий. Эти задачи могут решить современные комплексы геомиграционного моделирования, способные дать прогноз изменения концентраций микроэлементов в разных формах транспорта при катастрофических сценариях.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны водотоки Восточной Сибири и Дальнего Востока РФ. Эти регионы лидируют по количеству разработок россыпных полезных ископаемых (Золотые реки, 2012). В рамках исследования была проведена инвентаризация участков разработок. По данным АИС ГМВО, Региональных материалов ВСЕГЕИ (карты россыпных месторождений, распределенных и нераспределенных фондов, прогнозных ресурсов), а также методом дешифрирования картографического материала и спутниковых снимков (Sentinel-2, Landsat), были выбраны 144 водных объекта на которых производились постоянные определения мутности воды. Для этих постов были определены тренды изменения мутности за последние 20 лет, а также посчитаны статистические критерии (стандартное отклонение, Cv и дисперсия величин), которые позволили выявить области с наиболее высокой мутностью и неравномерностью стока наносов. В отсутствии информации о природных факторах интенсивной эрозии в районе этих постов был сделан вывод о преимущественном антропогенном влиянии. Неравномерность в величинах стока наносов связана со сбросами загрязнённых вод. Для дальнейшего анализа, из этих постов, были отобраны водотоки для которых имелся ряд гидрохимических наблюдений.

В работе рассматриваются 4 бассейна малых и средних рек: р. Модонкуль (респ. Бурятия, бассейн р. Селенга), р. Туул (Монголия, бассейн р. Селенга), р. Лангери (Сахалинская обл.) и р. Юкспорръок (Мурманская обл., бассейн р. Белая). Выбор этих бассейнов был связан с их высокой степенью гидрохимической изученности. В бассейнах в течение 2011-2017 были созданы сети репрезентативных станций, на которых были отобраны пробы воды и взвешенных наносов для анализа методом ICP-MS (72 элемента). Далее работы проводились с 22 химическими элементами, наиболее часто встречающимися в районах добычи полезных ископаемых. Кроме того, определялись pH, электропроводность воды, содержание DOC. Пробоотбор производился в маловодные и многоводные периоды года.

Оценка изменения химического состава вод выполнялась с помощью реакторной термодинамической гетерофазной модели Visual MINTEQ 3.0 (Gustafsson, 2010). Она опирается на метод баланса химических соединений, а также на вычисление констант химического равновесия. Так же ограниченно применяются методы минимизации свободной энергии. В модели присутствуют модули SHM

(учитывается комплексообразование химических элементов с органическими кислотами) и учитывается поверхностное комплексообразование на частицах $(Fe^{3+})_2O_3 \cdot 0.5H_2O$ и $Al(OH)_3$, повышающее точность расчётов для сложных геохимических условий.

Ещё одной частью исследований было создание нескольких сценариев трансформации качества вод в результате изменения геохимического фона. Были определены несколько сценариев изменения геохимической обстановки для рассматриваемых бассейнов, такие как изменение pH, DOC, мутности воды. Эти сценарии наиболее вероятны, так как в бассейнах расположены города, оборудованные недостаточно эффективной системой очистки коммунальных стоков, а также периодически происходят залповые сбросы вод из системы илоотстойников.

Результаты

Задача детектирования участков, находящихся под влиянием разработок, была решена с помощью проведённой инвентаризации источников поступления материала и площадей, занятых разработками. Для бассейнов крупных рек длина водотоков, нарушенных антропогенной деятельностью, составляет от 0,1% (Лена, Енисей) до 1,2% (Амур). Однако для малых и средних рек он может достигать 60-70% (р. Ульдегит, р. Бодайбо) (Школьный и др. 2017). При этом для этих рек фиксируются тренды увеличения мутности. Для участков золотодобычи в бассейнах рек Яна, Индигирка, Селенга, среднего течения р. Амур, а также рек бассейна Охотского моря они составляют 0,12-0,15. Бассейны имеют наиболее высокие показатели среднеквадратичного отклонения (рис.1), что предполагает значительные изменения режима стока наносов, вследствие эрозии горной части водосбора, а также наложения антропогенного влияния (смыв частиц взвеси с отвалов, сбросы вод из систем илоотстойников). Высокие значения разброса показателей мутности на Камчатке связаны с вулканической деятельностью и часто приурочены к сходам лахаров и грязекаменных потоков со склонов вулканов. Также повышенная неоднородность стока наносов отмечена в верховьях р. Лена и на реках Чукотки. Спутниковые снимки отмеченных территорий показывают шлейфы мутности, выявленные в районах разработок, что свидетельствует об интенсивном сбросе загрязнённых вод.

Для анализа гидрохимических показателей вод были выбраны 4 бассейна, в которых была отмечена высокая неоднородность стока наносов. В бассейнах рек Лангери и Туул производится добыча россыпного золота. В бассейне р. Модонкуль – добыча полиметаллических руд. В них используются схожие технологии добычи полезного компонента, его переработки, а также схожая система очистки сточных вод в виде системы прудов-илоотстойников. При осаждении взвешенных частиц не используются коагулянты.

Полученные в результате моделирования формы транспорта микроэлементов в бассейне р. Модонкуль и Туул имеют высокую корреляцию с натурными данными. Наиболее точные результаты получены для Fe, Pb, V, Zn, Cd, V, Cr. Так в замыкающем створе р. Модонкуль натурные измерения показали, что более 96% Fe находится в составе взвешенных частиц, тогда как около 3,2% в коллоидном виде. Результаты моделирования показали схожее распределение – 95,1% - взвешенные формы, 3,8% - коллоидные органоминеральные комплексы, 1% - растворённая форма. V и Cd имеют более 65-70% в составе взвешенных наносов (сорбированные на поверхности частиц) и 30% в растворённом виде. Pb в большей степени представлен в виде органоминеральных комплексов (до 70%) а также вовлечён в поверхностное комплексообразование. При этом около 2% представлено в растворённом виде. Для р. Туул и р. Лангери получена изменчивость концентраций микроэлементов по длине реки. При этом прослеживается изменение форм транспорта микроэлементов. В верховьях рек большая часть

микроэлементов V, Zn, Pb, As, Cr находятся во взвешенном состоянии (40-60%), однако в районе разработок и ниже наблюдается рост их содержания в составе взвешенных наносов (50-60%). В нижнем течении значительная часть микроэлементов в растворённой форме формирует органоминеральные комплексы (20-30%) в результате увеличения концентраций растворённых органических веществ (DOM), поступающих с водосбора. Результаты моделирования показывают высокую сходимость данных с натурными наблюдениями ($0,45<r2<0.89$; $p<0.05$).

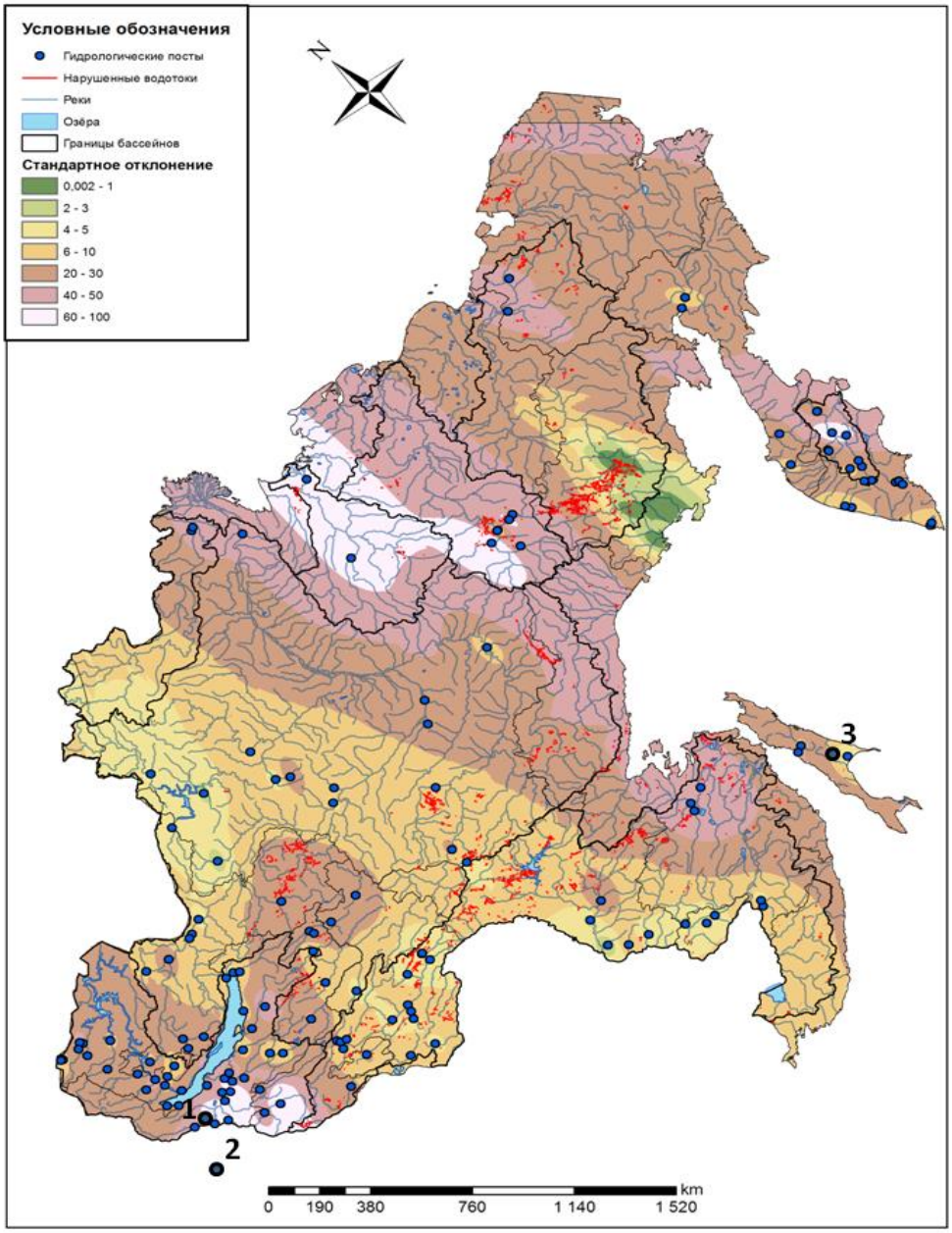


Рис. 1 Распределение величины среднеквадратичного отклонения значений мутности для бассейнов рек Восточной Сибири и Дальнего Востока РФ. Цифрами обозначены посты в бассейнах, для которых проводились гидрохимические исследования. Пост на р. Юкспорйок не представлен.

Для остальных микроэлементов наблюдаются менее чёткие соотношения ($r2<0.35$, $p<0.05$). Наименее точные результаты получены для бассейна р. Лангери. Это объясняется отсутствием в начальных условиях расчётного комплекса достаточно подробного

описания литологического строения территории, а также отсутствием модуля поверхностного комплексообразования для таких пород, как фторапатит и гидроксапатит. Кроме того, вероятно, значения концентраций DOC в пробах были несколько занижены, что привело к расхождению в результатах. Из этой группы элементов наиболее высокие показатели сходимости имеют Al и As. Их концентрации сильно зависят от процессов поверхностного комплексообразования на частицах гиббсита и нуждаются в калибровке.

Выводы

Современные подходы к детектированию участков загрязнения водных объектов по данным многолетних наблюдений, а также моделированию качества вод в этих участках с использованием ограниченных данных о химическом составе вод позволяют оценивать изменчивость качества вод в районах разработок. В результате проведённых исследований было определено, что геомиграционная модель Visual MINTEQ позволяет с высокой точностью определять соотношения форм транспорта микроэлементов- поллютантов: Fe, Pb, V, Zn, Cd, V, Cr, Для этих элементов получено распределение форм транспорта по длине рек. Для оставшейся группы металлов необходима более точная калибровка модели. В данный момент модель привлекается для расчёта концентраций микроэлементов и форм их транспорта в бассейне р. Юкспорр̆йок. Эти исследования позволят оценить возможность применения модели в условиях щелочной геохимической среды. Для р. Туул и р. Модонкуль получены результаты прогнозирования изменения форм транспорта в результате увеличения концентрации DOC и изменения pH среды. Полученная в ходе исследований информация помогает определить направление развития геохимического моделирования для бассейнов с щелочными водами и выявить пути, повышения точности расчётов.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 14-17-00155П.

Список литературы

Золотые реки. Вып.1. Амурский бассейн. Владивосток: Апельсин, 2012. 120 с.

Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах, СО РАН, Новосибирск, 2001, 3-88 с.

Чебыкин Е.П., Сороковикова Л.М., Томберг И.В., Воднева Е.Н., Рассказов С.В., Ходжер Т.В., Грачев М.А. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – № 5. – С. 613 – 631.

Школьный Д. И., Чалов С. Р., Ефимов В. А. Инвентаризация россыпных разработок благородных металлов в бассейнах рек Дальнего Востока РФ: географическое распространение и воздействие на русловые системы // Современные проблемы географии и геологии: Материалы IV Всероссийской науч.-практ. конференции с международным участием. — Т. 1. — Томский государственный университет Томск, 2017. — С. 410–414

Gustafsson JP (2010) Visual MINTEQ, version 3.0: a window version of MINTEQA2, version 4.0. http://www.lwr.kth.se/english/OurSoftware/Vminteq

Thorslund J., Jarsjö J., Wällstedt T., Mörth C.M., Lychagin M.Yu, Chalov S. R..// Speciation and hydrological transport of metals in non-acidic river systems of the lake baikal basin: Field data and model predictions / Regional Environmental Change. — 2016. — P. 1–15.

The study of water quality variability in mining areas

Efimov V.A.
Moscow State University, Moscow
Roxifixat@yandex.ru

Abstract: Extraction of minerals by the open mining, leads to a significant change of water quality in local area. It is expressed in the deterioration of water quality, in increases of turbidity and in intensification of heavy metals and toxic substances washout into surface waters. Chemical pollution is one of the most dangerous manifestations of human activity, because pollutants carried in the form of suspended and bed sediment can accumulate in the river system and remain in it for a long time. That is why the aim of the present work is to study the modes of occurrence and transport of trace elements in water bodies in mining areas, as well as to explore processes and conditions of the exchange between their forms of transport.

The study included 144 water bodies of the Eastern Siberia and Far East Russia. From this objects 4 rivers, which provided the greatest amount of chemical data, have been selected. The study considered such elements as Be; B; V; Cr; Mn; Fe; Co; Ni; Cu; Zn; As; Mo; Ag; Cd; Pb; Bi; Th; U; Zc; W; Al; Hg; Se. They often exceed MPCs in different parts of the basins. Using field data and model Visual MINTEQ simulation results, we estimated the quantity of the substance transported in the organic and mineral complexes adsorbed on the surface of suspended particles, precipitated in the form of minerals, and transported in a dissolved phase. The study was carried out for a number of cross-sections in each river basin, which allowed us to trace the change in concentration of the substance and to estimate its accumulation rates within geochemical barriers.

Keywords: heavy metals, geochemical modeling, glacer, gurbidity, pollution, hydrochemistry

Организация мониторинга стока биогенных веществ на реках

Задонская О.В.
ФГБУ «Государственный гидрологический институт»
ov-zadon@yandex.ru

Аннотация: Учет поступления биогенных веществ (азота и фосфора) с водосборов озер и морей является важной задачей для предотвращения и уменьшения эвтрофикации водоемов, особенно в условиях современного увеличения летних температур воды. Современная государственная система мониторинга в России имеет ряд недостатков, которые не позволяют получить полноценные данные для анализа изменчивости стока биогенов в годовом и многолетнем разрезе. Их анализ, а также рекомендации по улучшению мониторинга стока биогенных веществ представлены в данной работе.

Ключевые слова: биогенные вещества, мониторинг

Введение

Эвтрофикация водоемов – одна из важных проблем в современной гидрологии. Ее истоки лежат в значительном загрязнении водных объектов биогенными веществами (азот и фосфор), а также в повышении температур воды водоемов в связи с текущими изменениями климата. Биогенные вещества поступают в реки как со сточными водами предприятий (главным образом, жилищно-коммунального хозяйства), так и путем смыва с обрабатываемых и необрабатываемых земель, включая леса и болота. Наибольший объем биогенных веществ поступает в водоемы вместе с речным стоком.

Борьба с эвтрофикацией Балтийского моря является одной из главных задач ХЕЛКОМ (Хельсинской комиссии по защите морской среды Балтийского моря). В рамках международных договоренностей страны-члены ХЕЛКОМ, находящиеся в бассейне Балтийского моря, предоставляют информацию о поступлении валовых форм азота и фосфора с их территории. В Российской Федерации главными водотоками, втекающими в Балтийское море являются реки Нева, Нарва, Луга, Неман и Преголя. Для оценки биогенного стока через реки необходимы данные о концентрациях биогенных веществ в воде и о стоке рек. В замыкающих створах основных рек находятся пункты государственной наблюдательной сети за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши, наблюдения на которых проводятся Росгидрометом. Вместе с тем, существуют определенная несогласованность в работе государственной сети относительно оценки стока биогенных веществ.

Материалы и методы

На примере наблюдательной сети в бассейне р. Нарва рассмотрены основные проблемы организация мониторинга стока биогенных веществ на реках. В частном бассейне Нарвы существует 3 пункта наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши (ПВС), два из них – в истоке и устье р. Нарвы. В бассейне Чудско-Псковского озера, из которого и вытекает р. Нарва, наблюдения проводятся Росгидрометом на 4 его притоках (реки Великая, Пиуза, Желча, Гдовка).

Результаты

Пункты наблюдения за загрязнением ПВС имеют разную категорийность, а, следовательно, и разную периодичность отбора проб воды на гидрохимический

анализ (от 4 до 12 раз в год) (РД 52.24.309-2016, 2016): ежемесячно отбираются пробы в реках Великая и Нарва, в остальных реках только раз в сезон. Расчеты средних годовых значений концентраций различных форм азота и фосфора по 4 и по 12 измерениям за 2003-2016 годы показывает, что различия в этих случаях могут составлять более 50%. В таблице 1 представлены относительные величины погрешности расчета годовых значений концентраций по ежемесячным и по сезонным данным различных форм азота и фосфора по посту р. Великая – г. Псков (4,1 км от устья).

Как видно из таблицы, в отдельные годы (2003-2005, 2011) преобладает только положительный или только отрицательный знак величины погрешности расчетов среднего для различных форм биогенов, что может указывать на более сильную связь между концентрациями биогенных веществ и объемом стока в эти периоды. Однако более часто встречаются одновременно и положительные, и отрицательные отклонения в один год.

Еще одной проблемой является отсутствие наблюдений за валовыми формами биогенов. В обязательный перечень наблюдаемых показателей на постах Росгидромета входят только минеральные формы азота и фосфора (РД 52.24.309-2016, 2016). Наблюдения за общими (растворенными) и валовыми (из нефильтрованной пробы) формами биогенов ведутся лишь на отдельных постах. В трансграничном бассейне р. Нарва регулярные наблюдения за валовой формой фосфора организованы с 2003 г. Однако для азота определяется только общая (растворенная) форма.

Табл. 1. Относительная величина погрешности расчета годовых значений концентраций по ежемесячным и по сезонным данным по посту р. Великая – г. Псков (4,1 км от устья)

	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_2$	$N\text{-}NO_3$	N общ	$P\text{-}PO_4$	P общ	P вал
2003	-10,7	-8,0	-20,7	-21,6	-91,5	-73,9	-50,2
2004	50,0	-50,0	40,3	50,7	51,6	41,6	55,7
2005	-58,2	22,2	-7,3	-3,1	-29,9	-28,6	-21,5
2006	30,2	-30,2	-28,4	-22,7	53,1	29,4	24,3
2007	47,2	30,9	7,9	-8,8	18,5	24,0	10,9
2008	51,2	0,0	36,4	26,8	-9,1	-2,6	-9,6
2009	44,3	-14,8	-1,1	12,3	-19,3	17,2	14,9
2010	15,3	26,4	0,8	1,3	-18,1	-13,5	-15,4
2011	-14,9	6,3	-60,6	-44,1	-73,9	-56,5	-35,9
2012	47,1	0,0	0,4	14,5	7,7	-25,5	-20,0
2013	26,9	-5,0	-35,9	2,2	-34,8	-4,0	-23,2
2014	-5,7	11,9	10,0	-5,9	-15,5	0,7	-7,9
2015	2,3	39,0	12,8	2,7	-26,5	-4,0	11,7
2016	53,1	25,0	26,3	5,4	-11,0	12,8	8,2

Так как по рекомендациям ХЕЛКОМ оценка биогенной нагрузки на Балтийское море ведется по валовым формам азота и фосфора, то для получения этих показателей приходится проводить пересчет из минеральных форм с использованием переходных коэффициентов, что значительно снижает точность проводимых оценок.

Коэффициенты перехода, рассчитанные по данным пунктов Росводресурсов, проводящих наблюдения одновременно за азотом общим и валовым с 2008 г., для замыкающего створа р. Великая составил 1,23, для р. Пиуза – 1,21 (Задонская, 2017).

При этом максимальные значения коэффициентов достигают 1,64-1,70. Таким образом, вынужденное использование подобных коэффициентов значительно снижает точность расчетов биогенной нагрузки.

Выводы

Выявленные проблемы указывают на необходимость трансформации современной государственной наблюдательной сети за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши в пограничных районах и в районах, где эвтрофикация является значимой проблемой для большой части водоемов, с целью более полного учета стока биогенных веществ. Отбор проб воды на гидрохимический анализ должен проводиться ежемесячно. При этом должны определяться валовые формы азота и фосфора в каждой пробе.

Необходимо отметить, что для определения взноса каждой страны в загрязнение трансграничных и пограничных рек (Нарвы, Западной Двины, Немана и др.), необходимо не только иметь наблюдательную сеть на пограничных участках рек, но и располагать соответствующими инструментами для расчета поступления биогенов с водосборов рек (как от антропогенных, так и от природных источников), а также их трансформации по течению рек.

Список литературы

РД 52.24.309 -2016 Организация и проведение режимных наблюдений в пунктах государственной наблюдательной сети за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши // Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ "ГХИ", 2016 – 137 с.

Задонская О.В. Сток биогенных веществ с водосбора Чудско-Псковского озера // Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». К 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина. – СПб.: Аграф+, 2017. - стр. 203-205.

Organization of nutrient runoff monitoring on rivers

Zadonskaya O.V.

State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

ov-zadon@yandex.ru

Abstract: Evaluation of nutrient load (nitrogen and phosphorus) from the water bodies catchments is an important task for preventing and reducing their eutrophication, especially in the current conditions of summer water temperatures increase. The modern State monitoring system in Russia has some lacks that do not allow to obtain reliable data for the analysis of the variability of nutrient runoff in the annual and long-term period. Some recommendations are presented for improving of nutrient runoff monitoring system.

Keywords: nutrients, monitoring

Характеристика процессов седиментации в центральной части Камского водохранилища

Калинин В.Г., Ковязина И.А.
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь
irinakoviazina@mail.ru

Аннотация: На основе разработанного метода обработки материалов эхолотной съемки разных лет и применения ГИС-технологий исследована динамика процессов формирования рельефа дна центрального участка Камского водохранилища. Выявлено, что за период 1995–2009 гг. имела место тенденция к увеличению абсолютных отметок дна, а за 2009–2012 гг. преобладал процесс размыва. В целом за весь период полезный объем исследуемого участка уменьшился на 11,22%.

Ключевые слова: водохранилище, формирование чаши, ГИС-технологии, ЦМР, моделирование.

Введение

Донные отложения в искусственных водоемах формируются в основном за счет абразионной деятельности водной массы, а также за счет твердого стока, химических и биохимических источников взвесей. Пространственное распределение наносов определяется морфометрическими особенностями и гидрологическим режимом водохранилищ (Матарзин, 2003). Существуют различные методы для оценки характера распределения донных отложений в долинных водохранилищах: вычисление объема обрушенного материала на береговых стационарах, расчет твердого стока, отбор проб грунта дна, повторные промеры глубин.

На основе материалов съемок, выполненных до создания Камского водохранилища и через 10 лет после его наполнения, И.А. Печеркиным (1969) впервые исследованы процессы седиментации в районе с. Висим озеровидной части водохранилища. Использование ГИС-технологий позволяет провести анализ пространственно-временной динамики подводного рельефа и выполнить расчеты объемов донных отложений на более детальном и качественном уровне.

Цель работы – анализ процессов формирования рельефа дна на центральном участке Камского водохранилища.

Материалы и методы исследования

Исходными данными явились материалы эхолотных промеров глубин за 1995 г., 2009 г. и 2012 г.

Для того чтобы исходные материалы за разные годы были сопоставимы, нами разработан метод предварительной обработки этих материалов с использованием современных инструментов и технологий ArcGIS, который включает в себя:

- географическую привязку;
- создание отдельных картографических слоев участков водохранилища с заполненной атрибутивной базой данных;
- приведение всех значений глубин к НПУ с последующим вычислением их абсолютных высот;
- применение одних и тех же интерполяционных методов;
- обеспечение точного соответствия количества и местоположения промерных точек (Калинин и Гайнуллина, 2015).

Как показали проведенные ранее исследования, невыполнение последнего условия может привести к значительным (до 20%) ошибкам в расчетах (Калинин и Пьянков, 2002). Поэтому соблюдение требований к исходным данным является крайне важным условием

для создания корректных цифровых моделей рельефа (ЦМР) дна и проведения сравнительного анализа.

Результаты

Анализ пространственно-временной динамики рельефа дна выполнен на примере центрального участка Камского водохранилища (рис. 1а) за периоды 1995–2009 и 2009–2012 гг., в котором были выделены 3 морфологические зоны: старое русло с прирусловыми валами, пойма и надпойменные террасы.

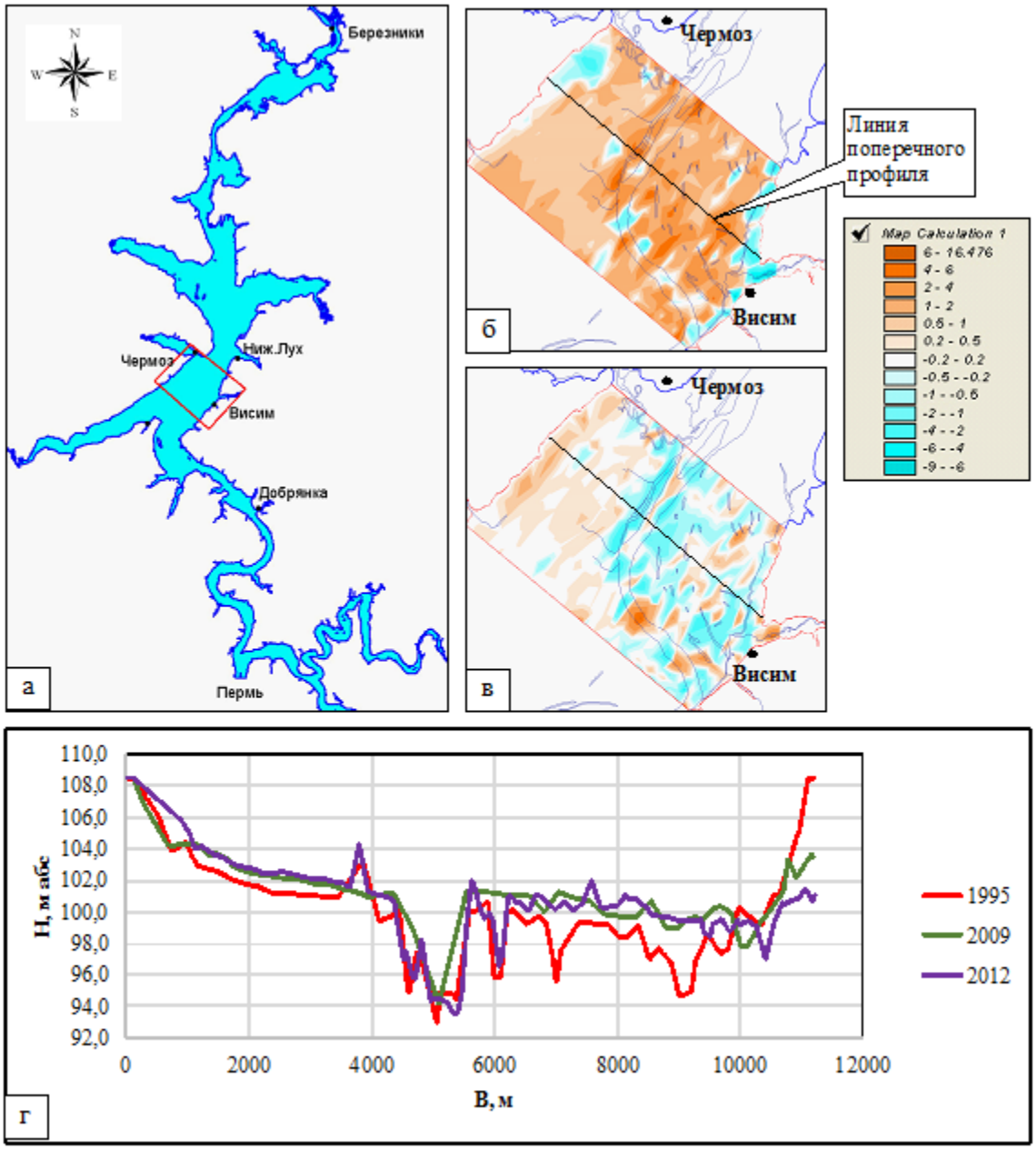


Рис. 1. Пространственно-временные изменения рельефа дна на Камском водохранилище
а – местоположение исследуемого участка; б – изменения за 1995–2009 гг., в – изменения за 2009–2012 гг., г – поперечные профили за 1995, 2009, 2012 гг.

Исследуемый участок Камского водохранилища представляет собой озеровидное расширение, что способствует интенсивному развитию процессов осадконакопления.

Средняя ширина составляет 11,5 км, а средняя глубина – 9,4 м. У южной границы участка старое русло р. Камы расположено вдоль левого берега. В центре и на севере оно меняет направление и проходит почти по его середине. В пределах рассматриваемого участка затоплены огромные пойменные пространства шириной до 6,5 км на отметках 98,0-101,0 м абс. с большим количеством валов. Первая надпойменная терраса прослеживается у правого берега на 102,5-104,5 м абс. (Перевощикова и Калинин, 2014).

После предварительной обработки исходных данных и создания картографических слоев с точным соответствием количества и местоположения промерных точек за разные годы, были построены гидрологически корректные ЦМР дна, которые послужили основой создания модельных карт динамики донного рельефа за периоды 1995–2009 и 2009–2012 гг.

Анализ произошедших пространственно-временных изменений донного рельефа за 1995–2009 гг. (рис. 1б) показал, что на исследуемом участке преобладала тенденция к увеличению абсолютных отметок дна по направлению к старому руслу р. Камы. На севере центрального участка величина прироста донных отложений достигла максимальных значений – до 6,0 м.

В зоне левобережной поймы равномерность распределения наносов нарушалась вследствие наличия бывших озерин. Так, на расстоянии 2 км от берега прирост донных отложений составил 2 м, а на расстоянии 3 км – 0,5-1,0 м.

У берегов и в зоне надпойменной террасы отмечен размыв до 1,0 м. Это могло быть следствием транспорта поступившего в результате абразии материала в направлении старого русла.

В южной части исследуемого участка на пространственное распределение осадконакопления повлиял вынос твердого материала притоками, впадающими в водохранилище с правого и левого берегов. За исследуемый период наблюдалось увеличение количества наносов. Это, по-видимому, связано с тем, что в силу малых скоростей течений и большого количества наносов, материал, поступивший с водами притоков, отложился в направлении их русел.

За период 2009–2012 гг. картина существенно изменилась (рис. 1в). На всем исследуемом участке преобладали процессы размыва. В зоне старого русла и прирусловых валов накопление донных отложений сохранилось вблизи островов (0,5 м).

В зоне правобережной поймы (на севере центрального участка) наблюдалось неравномерное распределение донных отложений. Их прирост составил 0,5-1,0 м. Наибольшая аккумуляция (2,0-4,0 м) локализована в зоне надпойменной террасы. Это могло быть связано с тем, что количество поступившего с берегов обрушенного материала, превышало возможность их выноса вдольбереговыми течениями. В то же время, в южной части исследуемого участка имел место размыв: вдоль прирусловых валов он составил 0,5-1,0 м, у левого берега – 2,0-4,0 м.

Для уточнения полученных результатов выполнен анализ изменений донного рельефа по поперечному профилю (рис. 1г). Профили строились на основе извлеченных из GRID-моделей абсолютных отметок дна в точки с шагом 10,0 м по линии профиля. Выявленные закономерности деформаций рельефа дна, полученные по результатам моделирования пространственных изменений, полностью подтвердились на поперечном профиле.

Выводы

В результате проведенных исследований пространственно-временных деформации рельефа дна на центральном участке Камского водохранилища выявлены следующие закономерности:

– за период 1995–2009 гг. отмечена тенденция к увеличению абсолютных отметок дна в направлении от берегов к старому руслу р. Камы, где величина аккумуляции была наибольшей (4-6 м). Выполненные расчеты показали, что объем участка Камского водохранилища уменьшился на 13,88%.

– за период 2009–2012 гг. преобладал процесс размыва, наибольшие значения которого локализованы в старом русле р. Камы (до 4,0 м). На надпойменной террасе наблюдался прирост отметок дна (1,0-2,0 м) вследствие отложений обрушенного с берегов материала. Объем участка увеличился в среднем на 2,66%.

Список литературы

Калинин В.Г., Гайнуллина Д.Н. Применение ГИС-технологий для исследования процессов формирования рельефа дна водохранилищ // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. Междунар. науч. - практ. конф. (29-31 мая 2015 г., Пермь): в 2 т. Т. I: Гидро- и геодинамические процессы. Управление водными ресурсами / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь. – 2015. С. 31–36.

Калинин В.Г., Пьянков С.В. О точности определения морфометрических характеристик водохранилищ // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала: межвуз. сб. науч. тр. / Перм. ун-т. Пермь. – 2002. – С. 121–125.

Матарзин Ю.М. Гидрология водохранилищ./Ю.М. Матарзин – Пермь, 2003. – 296 с.

Перевощикова О.А., Калинин В.Г. К оценке пространственных неоднородностей рельефа дна долинных водохранилищ (на примере Камского) // Географический вестник. – 2014. – №3 (30). – С. 18–26.

Печеркин И.А. Геодинамика побережий камских водохранилищ. Ч. 2: Геологические процессы. Пермь, 1969. – 308 с.

Characteristics of sedimentation processes in the central part of the Kama reservoir

V.G. Kalinin, I.A. Koviazina
Perm State University, Perm, Russia
irinakoviazina@mail.ru

Abstract: Dynamics of the bottom relief formation processes in the central part of the Kama reservoir is studied based on the developed method of preliminary processing of echolocation survey materials of different years and application of GIS technologies. There was a tendency to increase absolute bottom marks for the period 1995-2009, and the erosion process prevailed for 2009-2012. In general, the useful volume of the investigated area decreased by 11.22% for the whole period.

Keywords: reservoir, bowl formation, GIS-technology, DEM, modeling.

Гидрохимический сток рек с сильно заболоченных территорий на примере Иласского болотного массива

***Каштаненко В. И.*, Потапова Т. М.**
Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле
bulletfornm@yandex.ru

Аннотация: Проведена оценка химического состава воды и гидрохимического стока реки, дренирующей Иласский верховой болотный массив Архангельской области. Установлены общие и отличительные признаки химического состава болотных и речных вод. Рассчитаны экстремальные и фоновые значения модулей стока минеральных, органических, биогенных и загрязняющих веществ р. Черной. Выявлено значительное превышение модуля стока органического углерода относительно фоновых значений для рек бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО). Установлено распределение ионного стока и стока органических веществ по сезонам.

Ключевые слова: болотный водосбор, гидрохимический фон, гидрохимический сток, модуль стока.

Введение

Вопросам оценки геохимического стока рек бассейнов морей СЛО посвящено значительное количество работ (Никаноров, 2001; Брызгало, Иванов, 2000). Влияние болот на химический состав вод рек с сильно заболоченными водосборами освещено в литературе в меньшей степени. Оценка гидрохимического стока рек, являющихся водоприемниками болот, представлена в статьях (Калюжный, 1999; Потапова, Новиков, 2006). В настоящей работе на основе обобщения кадастровых гидрологических и гидрохимических данных (Материалы наблюдений, 1976) проведена оценка стока различных химических веществ, включающих и загрязняющие вещества (нефтепродукты, тяжелые металлы) для регулируемых болотами рек на примере Иласского болотного массива за современный период 1993 – 2017 гг. Такая оценка приводится в литературе впервые.

Иласское болото относится к типичным олиготрофным болотам и располагается в Приморском районе Архангельской области общей площадью 89 км^2. Болото расположено на водоразделе трех рек, входящих в бассейн р. Северной Двины. Рельеф окружающей местности равнинный, к северу от болота местами всхолмленный, северные берега изрезаны оврагами. Наиболее распространенными типами микроландшафтов на болоте являются грядово-озерковый, грядово-мочажинный, сфагново-пушицево-кустарничковый с единичными соснами высотой до 3 м и сфагново-кустарничково-пушицевый с редкой сосной (Материалы наблюдений, 1976).

Гидрографическая сеть Иласского болота представлена многочисленными озерками, озерами, реками и ручьями, являющимися водоприемниками болотной системы. Наибольшее обводнение болота наблюдается в центральных частях, где располагаются грядово-озерковые комплексы.

Результаты

Оценка фоновых показателей и стока химических веществ проведена для р. Черной вследствие наличия длительного ряда гидрохимических наблюдений и высокой площади болотного водосбора (до 60%); для характеристики болотного гидрохимического фона выбран грядово-мочажинный комплекс (скв. 205) как наиболее характерный микроландшафт исследуемого болота. Оценка фоновых содержаний болотных и речных вод проведена в соответствии с рекомендованными на сети Росгидромета Методическими указаниями (Методические указания, 2002) на основе статистического анализа данных.

Сопоставление фоновых содержаний гидрохимических показателей болотных и речных вод позволяет установить общие и отличительные признаки исследованных вод. Несмотря на близкие значения фоновых содержаний основных гидрохимических показателей (кислая и слабокислая реакция pH, ультрамалая общая минерализация (<50 мг/л), низкий уровень содержаний окисленных форм азота и фосфора (на уровне 0,01-0,1 мг/л), высокий уровень содержаний органических веществ (ХПК = 80 – 200 мгО/л), общего железа (>1 мг/л) в химическом составе болотных и речных вод существуют принципиальные различия.

На основе корреляционного анализа репрезентативных выборок с числом членов более 50 установлены принципиальные различия корреляционных связей исследованных болотных и речных вод. Несмотря на близкие значения pH, коэффициенты корреляции между pH и минерализацией (M) существенно отличаются: в болотных водах $R = -0,1$ $R = -0,1$, в речных водах $R = +0,60$ $R = +0,60$, что указывает на прямо пропорциональную зависимость минерализации от pH в речных водах. Кроме того, в болотных водах наиболее тесная связь установлена в системе: минерализация – сульфат ион $R = +0,79 R = +0,79$, тогда как в речных водах связь между минерализацией и сульфат ионом отсутствует ($R = -0,08$ $R = -0,08$) при тесной связи минерализации с гидрокарбонатами. Это указывает на принципиально иные условия формирования химического состава вод реки в сравнении с болотными водами, которые определяются повышенной аэрацией в условиях открытой воды рек, что приводит к усилению окислительных процессов, снижению (в 3 раза) содержания органических веществ, появлению гидрокарбонатов и переформатированию ионного состава речных вод (M – Na (Ca)) – HCO_3) в сравнению с болотными (M – Ca (Na) – SO_4). Из сопоставления средних содержаний загрязняющих веществ можно отметить повышенный уровень концентраций в болотных водах по сравнению с речными, особенно выраженный для фенолов, меди и цинка на фоне близких значений без превышения ПДК для нефтеуглеводородов.

Значительное место в работе занимает анализ стока растворенных гидрохимических веществ, являющийся базовой характеристикой, учитываемой в различных проектных изысканиях, а также показателем загрязнения поверхностных вод.

На основе установленных фоновых содержаний минеральных, биогенных и органических веществ и среднемноголетнего расхода воды за период 1993 – 2010 гг. были рассчитаны модули ионного, органического стока, а также стока загрязняющих веществ Иласского болота, приведенные в табл.1. Расчет среднемноголетних значений модулей стока растворенных веществ проводился по формуле (Никаноров, 2001):

$$P = Q \cdot C \cdot \frac{\tau}{1000000} \ (\frac{т}{год}),$$

где Qгде Q – расход воды, л/с/с, CC – концентрация химического вещества, мг/л (мкг/л), $\tau\tau$ – число секунд в году. Модуль стока вычислялся по формуле (Никаноров, 2001):

$$R = \frac{P}{F},$$

где PP - годовой сток растворенных веществ (тонн, кг или г), FF – площадь водосбора, км^{2}км^2.

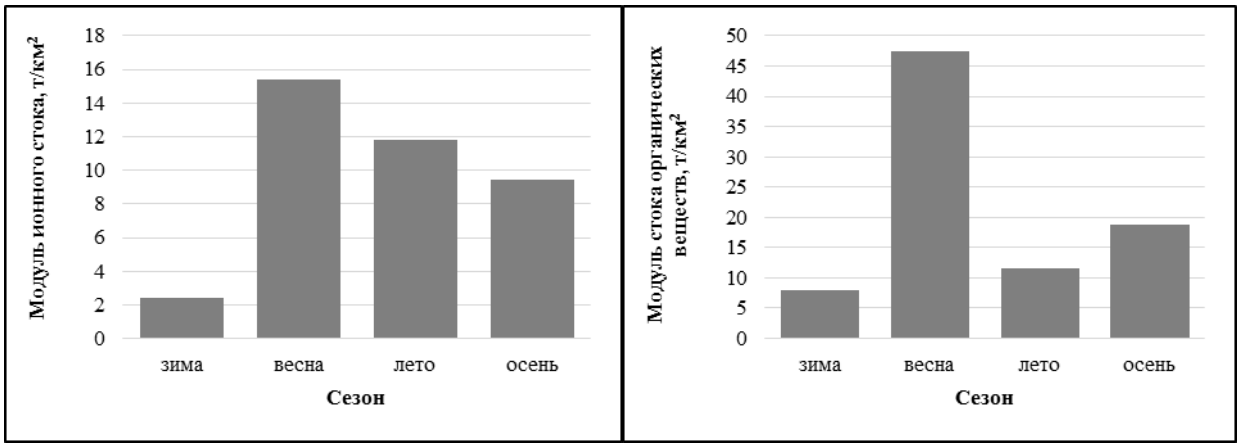
Анализ установленных модулей стока с литературными данными показывает значительное увеличение (в 4 – 5 раз) модуля стока органических веществ и, наоборот снижение модуля ионного стока (в 1,5 – 2 раза) в р. Черной по сравнению с фоновыми значениями рек СЛО (Никаноров, 2001; Мальцева и др., 1987). Модули стока биогенных элементов (минеральных форм азота и фосфора) близки к фоновым значениям для речных вод; модули стока общего железа (293 мг/л) и кремния (586 мг/л) превышают фоновые в 2 – 4 раза. Сопоставление полученных значения модулей стока загрязняющих веществ с

литературными данными выявляет ряд интересных особенностей, а именно, значительно более низкие модули стока нефтеуглеводородов и меди, и более высокие значения стока фенолов в болотной реке по сравнению с фоновыми.

Табл. 1. Сток растворенных веществ по р. Черной за период 1993 – 2010 гг. (Иласский болотный массив)

Среднемноголетний расход, л/сл/с	**Модуль ионного стока**	**Модуль органического вещества**	**Модуль биогенных веществ**			
	$P_{И}, \frac{т}{км^2}$ год	$P_{C}, \frac{т}{км^2}$ год	$P_{N}, \frac{кг}{км^2}$ год	$P_{PO4}, \frac{кг}{км^2}$ год	$P_{Fe}, \frac{кг}{км^2}$ год	$P_{Si}, \frac{кг}{км^2}$ год
91,9	$\frac{10,8}{2,4-16,5}$	$\frac{19,3}{8,5-36,7}$	$\frac{39}{18-90}$	$\frac{3,3}{1,9-5}$	$\frac{293}{84-472}$	$\frac{586}{70-838}$

Примечание: в числителе – среднемноголетние значения гидрохимического стока, в знаменателе – минимальные и максимальные значения величин R. Модуль стока минерального азота определен как сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота; модуль стока минерального фосфора-по фоновому содержанию фосфора фосфатов, модуль стока органического углерода – по содержанию ХПК



а б

Рис. 1. Сезонный сток минеральных (а) и органических веществ (б) р. Черной Иласского болотного массива

Изучение зависимости модулей гидрохимического стока от водности позволяет сделать вывод о статистически значимом увеличении (в 1,5 – 2 раза) стока органических и биогенных веществ, включая общее железо и кремний, в многоводные годы; значимой изменчивости модулей ионного стока для лет разной водности не выявлено. Очевидно, это обусловлено разнонаправленными изменениями концентраций и расходов воды: в многоводные годы концентрации ионов уменьшаются на фоне увеличения расходов воды, а маловодные – концентрации увеличиваются при уменьшении расходов воды.

Сезонное распределение ионного стока и стока органических веществ, рассчитанное за многолетний период наблюдений, имеет ряд существенных различий (Рис. 1 а, б). Ход кривой изменения модуля стока органических веществ (Рис. 1 б) совпадает с ходом гидрографа и коррелирует с увеличением бихроматной окисляемости при максимальных расходах воды. Ход кривой модуля ионного стока имеет несколько иной характер (Рис. 1 а). Относительно небольшое различие модулей ионного стока в периоды весеннего

половодья и летней межени обусловлено разнонаправленным характером изменения расходов и общей минерализации воды: уменьшением минерализации в весенний период на фоне увеличения расходов воды и, наоборот увеличением минерализации в летний период при уменьшающихся расходах воды. При этом максимальные значения как модуля ионного стока ($P_и P_и$ = 15,4 т/км^2), так и модуля стока органических вещества (P_C (P_C = 47,5 т/км^2) установлены в период весеннего половодья.

Заключение

Установленные фоновые значения модулей речного стока различных химических веществ для верховых болот и их зависимость от водности могут быть положены в основу разработки различных нормативных документов, направленных на сохранение или восстановление водно-болотных угодий нашей страны.

Список литературы

Брызгало В. А., Иванов В.В. Сток растворенных веществ на замыкающих створах бассейнов арктических морей России. //Экологическая химия, 2000 N9, с. 76 – 89;

Калюжный И.Л. Оценка выноса органического вещества водами олиготрофного болотного массива, Метеорология и гидрология, 1999, №11, с. 98 – 104;

Мальцева А. В., Тарасов М. Н., Смирнов М.П. Сток органических веществ с территории СССР//Гидрохимические материалы, 1987, т. 102, с.76 – 97;

Материалы наблюдения болотных станций за 1975 год. Выпуск 1, Северо-Западное УГМС, 1976, с. 111 – 115;

Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник СПБ, Гидрометеоиздат, 2001 – 233 с.;

Потапова Т.М., Новиков С.М. Оценка антропогенных изменений химического состава болотных вод и стока растворённых веществ с территории естественных и мелиорированных верховых болот // Вестник СПбГУ, сер.7, 2006, вып. 2, с. 85 – 95;

РД 52.24.643-2002 Методические указания, Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям – СПб: Гидрометеоиздат, 2002 – 43 с.

Hydrochemical river of rivers from strongly shocked territories by the example of the Ilas bog

Kashtanenko V.I., Potapova T.M.

Saint-Petersburg State University, Institute of Earths Sciences

bulletform@yandex.ru

Abstract: The chemical composition of the water and the hydrochemical drainage of the river draining the Ilas bog swamp of the Arkhangelsk region has been estimated. General and distinctive features of the chemical composition of bog and river waters are established. Extreme and background values of the moduli of the runoff of mineral, organic, biogenic and polluting substances were calculated. Black. A significant excess of the organic carbon runoff relative to the background values for the rivers of the Arctic Ocean basin was detected. The distribution of ion runoff and runoff of organic substances by seasons is established.

Keywords*:* marsh catchment area, hydrochemical background, hydrochemical runoff, flow module.

Оценка изменения стока на участке нижнего бьефа Новосибирского водохранилища

Кильдибеков Е.С., Пряхина Г.В., Иванин В.И.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
shaker4k@yandex.ru

Аннотация: В данной работе выполнена оценка влияния Новосибирского водохранилища на сток реки Обь. Проведен анализ данных до и после строительства водохранилища, создана информационная база, которая включала в себя данные о среднесуточных расходах воды, испарении с поверхности почвы и водной поверхности. Подобраны спутниковые снимки для оценки площадей затопления пойм. Восстановлены естественные расходы воды после строительства водохранилища в створе г. Новосибирск. Произведена оценка изменения стока в нижнем бьефе после строительства водохранилища. Выполнен анализ изменения площадей затопления и времени стояния воды на пойме после строительства водохранилища. С постройкой водохранилища площади затопления сократились, а в период с 2005 по 2014 гг. вода и вовсе перестала выходить на пойму. Рассчитана компенсация воды за счет сокращения площадей затопления пойм, которая составила 12-16% от потерь на испарения с зеркала водохранилища.

Ключевые слова: водохранилище, сток, восстановление стока, изменение объёмов, пойма, площадь затопления, ГИС, испарение.

Введение

Строительство крупных водохранилищ, особенно с объемами больше 1 км^3, приводит к наиболее ощутимым изменениям различных компонентов природной среды, изменению процессов водообмена на окружающих территориях и формированию “совершенно новых природно-техногенных систем речной бассейн-водохранилище, изучение которых представляет большой научный интерес и имеет важное практическое значение для решения проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов” (Вуглинский, 1991).

Наиболее сложные изменения характера водообмена имеют место в зоне нижнего бьефа (ЗНБ), где в зависимости от режима регулирования стока могут иметь место либо увеличение площадей затопления (при превышении сбросов в нижний бьеф над естественным стоком) либо их уменьшение (в фазу наполнения водохранилища, когда в нижний бьеф поступает воды меньше по сравнению с естественными условиями). В первом случае будут иметь место потери воды на поверхностное задержание, фильтрацию и на испарение с дополнительных площадей затопления (и, как следствие этого, снижение стока), а во втором случае - экономия воды за счет снижения этих видов потерь (и, соответственно, увеличение стока). Интегральный эффект будет определяться, в конечном счете, тем, какой из указанных выше двух процессов будет преобладающим в течение рассматриваемого интервала времени. Существует мнение что в ЗНБ происходит общая экономия речного стока в связи с тем, что водохранилища срезают пики половодий и паводков и выравнивают ход стока внутри года. Площади затопления в прирусловой области реки ниже створа плотины и в дельте при этом сокращаются, что приводит к уменьшению испарения, в основном, с тех участков суши, которые до создания водохранилища подвергались интенсивному затоплению.

Целью данной работы является оценка компенсации потерь стока на испарение за счет сокращения площадей затопления на участке нижнего бьефа Новосибирского водохранилища.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны участок русла и прирусловой части поймы р. Оби в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища протяженностью 87 км от подпорного сооружения до поста с. Дубровино.

Плотина Новосибирской ГЭС находится расстоянии 2987 км от устья реки; вид регулирования – многолетнее, тип водохранилища – русловое. Водохранилище предназначено для целей энергетики, водного транспорта, орошения и водоснабжения. Введено в эксплуатацию в 1961 году. Протяженность береговой линии составляет 500 км, площадь затопленных земель – 951 км^2.

На исследуемом участке реки ширина поймы изменяется от 1 км в районе Новосибирска до 3 км в районе с. Дубровино. На пойме имеются старицы, гривы, валы, мелкие и крупные ложбины, микропонижения, заболоченные участки и т.д. Затопление поймы начинается с низовых частей пойменных массивов через прорвы. Вода распространяется по понижениям. С повышением уровня вода начинает поступать на пойму через слабо выраженные верховые прорвы и через понижения в прирусловых валах. При еще более высоком уровне наблюдается транзитный поток на пойме. В районе Новосибирска пойма левобережная, начинает затопляться при уровне 500 см Б.С. Растительность преимущественно луговая. Сток воды на пойме не измеряется.

В качестве исходной информации использованы данные о среднесуточных, расходах и уровнях воды на гидрометрических постах стандартной гидрологической сети для двух створов: г. Барнаул - створ выше водохранилища и г. Новосибирск - створ в нижнем бьефе. Положение верхнего и нижнего створов определялось наличием надежных данных наблюдений за расходами воды. Выбирались годы различной водности до и после строительства водохранилища. Для исследования было выбрано два периода: после постройки водохранилища с 1959 по 1969 гг., и с 2005 по 2014 гг. Так как вода на пойму выходит только в июне, то расчёт производился только для данного месяца.

Разность суммарных за теплый период объемов зарегулированного (W) и естественного (восстановленного) (W^*) стока - (ΔWв) в верхнем створе нижнего бьефа за расчетный период определялась по формуле.

$$\Delta W_{\text{в}} = W - W^* \quad (1)$$

Погрешность определения объемов стока была рассчитана по формуле (2) где n - число дней в расчетном периоде, σ – среднее квадратичное отклонение.

$$\sigma_{\Delta W} = \sigma_{Y/X} / \sqrt{n} \quad (2)$$

Для определения естественных расходов воды в створе плотины за период существования водохранилища использовалась процедура «восстановления» стока.

Для восстановления стока применялось уравнение связи соответственных расходов воды, используемое в практике краткосрочных прогнозов стока в виде аналитической зависимости для приточного участка (Георгиевский, 1982):

$$Q_{\text{Н}\,t} = a\,Q_{\text{В}\,t-\tau 1} + bQ_{\text{В}\,t-\tau 2} + \cdots\cdots + d \quad (3)$$

где $Q_{\text{В}\,t-\tau 1}$ – расход воды в створе главной реки в момент времени $t - \tau_1$; $Q_{\text{В}\,t-\tau 2}$ – расход воды в створе притока в момент времени $t - \tau_2$

Для корректного сопоставления среднесуточных расходов воды в створах, достаточно удаленных друг от друга, необходимо учесть время сдвига или время добегания паводочной волны от верхнего к нижнему створу. Значения времени сдвига τ среднесуточных расходов воды (между верхним и нижнем створом) определялись (Георгиевский, 1982) путем перебора различных значений τ от 0 до 10 суток с принятием того, которое соответствует максимальному значению коэффициента корреляции.

Естественные уровни воды после строительства водохранилища определялись по восстановленным расходам воды с помощью кривой расходов, построенной по измеренным расходам в створе г. Новосибирска до строительства водохранилища.

Одной из причин возможной компенсации (экономии) на рассматриваемом участке рек ниже водохранилища может являться снижение потерь на испарение за счет уменьшения площадей затопления поймы в период весеннего половодья при снижении сбросов в нижний бьеф по сравнению с естественным периодом.

Расчет изменений объемов испарения ΔE после создания водохранилища был выполнен по следующей формуле:

$$\Delta E = (E_{\text{В}} - E_{\text{С}}) * (S_{\text{В}} - S_{\text{З}}) \quad (4)$$

где ($S_{\text{В}}$-$S_{\text{З}}$) – разность площадей затопления поймы при зарегулированном и восстановленном (естественном) стоке, ($E_{\text{В}}$-$E_{\text{С}}$) –разность величин испарения с водной поверхности и с поверхности суши.

Площади затопления поймы определялись на участке г. Новосибирск – с. Дубровино с использованием кривой зависимости величины затопления поймы от уровня воды $S = f(H)$. Для построения которой были использованы спутниковые снимки LandSat L7 ETM (http://earthexplorer.usgs.gov), обработанные в программах QGIS и ArcGIS и данные об уровнях воды на посту г. Новосибирска за период с 1999 по 2014 гг. В качестве допущения было принято, что характер зависимости площади затопления поймы от уровня сохраняется на всем исследуемом участке.

Испарение с поверхности суши было рассчитано с помощью метеорологических данных, полученных с сайта meteo.ru, по методу водного баланса, а испарение с водной поверхности по данным водноиспарительной станции Квашино. Далее по данным плавучего испарителя ГГИ-3000 был произведён пересчёт для получения испарения с плавучего бассейна площадью 20 м^2 по формуле 6 (В. С. Вуглинский, И. П. Албул):

$$E_{20} = 0{,}6319 * E_{3000} + 36{,}611 \quad (5)$$

Испарение рассчитывалось для периодов, когда вода выходила на пойму. Объём испарения с зеркала водохранилища был рассчитан при площади водохранилища при НПУ.

Результаты и обсуждение

Связи средних суточных расходов воды в естественных условиях (до строительства водохранилища) в створах г. Барнаул и г. Новосибирск оказались достаточно тесными в годы различной водности. Коэффициенты корреляции (R) изменялись от 0,95 до 0,96, а критерии случайности составили менее 5%. Это позволило использовать полученные уравнения регрессии для восстановления естественного стока в створе г. Новосибирска после строительства водохранилища

Определение время добегания τ на участке Барнаул - г. Новосибирск оказалось достаточно надежным, т. к. до строительства водохранилища пики половодий и паводков имели хорошо выраженный характер. Расчетные значения τ изменялись от 2 до 9 дней. В расчетах для этого участка было принято среднее значение τ = 7 суток.

Анализ восстановленных (условно естественных) и зарегулированных расходов воды показал, что в результате перераспределения стока при регулировании объемы годового стока, поступающие в нижний бьеф после строительства водохранилища уменьшились в каждый из рассматриваемых периодов. В отдельные годы $\Delta W_{\text{В}}$ составляло от 5% до 26% от условно естественного стока. Уменьшение объемов стока теплого периода (апрель – октябрь) в среднем оказались больше за 2005-2014 гг. по сравнению с 1959-1969 гг. почти в два раза, при этом в холодный период (ноябрь-март) $\Delta W_{\text{В}}$ практически не менялось составляя 21% (1959-1969 гг.) и 25% (2005-2014 гг.) от условно естественного стока.

По восстановленным расходам воды с кривой расходов были сняты значения условно естественных (восстановленных) уровней воды после строительства

водохранилища. При этом в качестве допущения было принято, что связь между расходами и уровнями в исследуемом створе не изменилась после строительства водохранилища.

С кривой *S=f(H)* по наблюденным и восстановленным уровням были получены величины площадей затопления (S) на участке нижнего бьефа и определено время стояния воды (T) на пойме для зарегулированного и условно естественного режимов.

Табл. 1. Изменение испарения на участке г. Новосибирск – село Дубровино после создания водохранилища

Годы	Изменение площади затопления поймы,ΔS, км^2	Разность между испарением с воды и суши, ($E_В$-$E_С$) мм	Изменение объемов испарения с поймы, ΔE км^3	Испарение с зеркала водохранилища, км^3	% от потерь на испарение с зеркала водохранилища
1969	-23,2	14	-0,0026	0,021	12,5
2006	-9,2	3	-0,0013	0,0081	16,0
2010	-14,3	5	-0,0010	0,0076	13,6

Уменьшение стока в весенний период и увеличение стока в период малой водности в результате создания Новосибирского водохранилища изменили режим затопления поймы на исследуемом участке. В период весеннего половодья часть поймы перестала заливаться по причине расходования части стока на заполнение водохранилища, а в период пониженной водности дополнительные участки суши могли быть залиты водой в результате дополнительных сбросов из водохранилища. Следует отметить, что в период с 2005-2014 гг. вода перестала выходить на пойму на рассматриваемом участке нижнего бьефа. В результате изменения соотношения вода-суша должна была измениться и величина испарения с данной территории.

Анализ результатов расчета испарения показал, что компенсация потерь на испарение с зеркала водохранилища за счет сокращения площадей затопления поймы на участке Новосибирск - с. Дубровино для 3 наиболее многоводных лет составила 12-16% от потерь на испарение с зеркала водохранилища.

Выводы

Проведя исследование влияния Новосибирского водохранилища на сток р. Обь можно сделать следующие обобщённые выводы:

1. С постройкой водохранилища изменился объём стока. В маловодные годы объём стока увеличился примерно на 5%, что касается многоводных лет и лет средней водности, то здесь отмечено уменьшение стока от 9 % до 26 %.
2. В связи с уменьшением стока половодья в результате постройки водохранилища, снизилась площадь затопления поймы в разные годы от 1,8 до 23,2 км^2.
3. Компенсация воды, за счёт уменьшения испарения с пойм в результате сокращения площадей затопления за июнь в разные годы, составила 0,0081 – 0,021 км^3 (12-16% от испарения с площади зеркала водохранилища).

Следует отметить, что в работе рассматривалась компенсация стока только за счёт сокращения потерь на испарение. в то время как при уменьшении площадей затопления поймы сокращаются потери стока на поверхностное задержание и фильтрацию, что также приводит к дополнительной экономии стока, которая может иметь более существенную величину.

Список литературы

Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 224 с.

Георгиевский Ю.М. Краткосрочные гидрологические прогнозы. Л. Изд. Политехнического ин-та им. М.И.Калинина, 1982. 99 с.

Influence of Novosibirsk water reservoirs on the river flow

Kildibekov E.S.*, *Pryakhina G.V.*, *Ivanin V.I.
St. Petersburg State University, St. Petersburg
shaker4k@yandex.ru

Abstract: In this work the assessment of influence of the Novosibirsk reservoir on the Ob River runoff was made. Analysis of data was made before and after the construction of the reservoir, for this purpose the informational base was created which included data on average daily water discharges, on evaporation from the surface of the soil and the water surface. Satellite pictures for an assessment of the areas of flooding of floodplains were selected. Natural water discharges after construction of a reservoir in an alignment Novosibirsk were restored. The assessment of change of the runoff in the downstream after construction of a reservoir was made. Flow volume as a result of construction of a reservoir decreased a little. Change of the areas of flooding of floodplains and time of standing of water on a flood plain after construction of a reservoir was analyzed. With construction of a reservoir of the area of flooding were reduced, and during the period from 2005 to 2014 water ceased to come to the floodplain at all. Compensation of water due to reduction of the areas of flooding of floodplains which made 12-16% of losses for evaporations from a reservoir mirror was calculated.

Keywords: reservoir, runoff, flow, natural discharge, flooding area, GIS, evaporation

Роль водного баланса в характере уровенного режима для района переменного подпора Камского водохранилища

Китаев А.Б., Шайдулина А.А.
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь
hydrology@psu.ru

Аннотация: Водохранилище рассматривается как антропогенное звено общего процесса стока. Водный баланс искусственного водоема представлен как характеристика, отражающая естественный приток вод в водохранилище и характер регулирования стока гидроузлом ГЭС. Показано влияние составляющих водного баланса Камского водохранилища (приток воды в водоем и сброса вод через гидроузел Камской ГЭС) на внутригодовой ход уровенного режима в верхнем и нижнем бьефах. Это влияние рассмотрено применительно к разным фазам гидрологического режима водохранилища – в фазу весеннего наполнения водоема, в период зимней его сработке и в фазу летне-осенней стабилизации уровня воды. Отмечены особенности этого влияния в характерные по водности годы. Для этой цели проанализированы ежедневные уровни воды с 2001 по 2015 год по разным гидрологическим постам, а также величины притока вод в водоем и сброса вод через гидроузел за этот же период. Выявлены многоводные и маловодные годы в исследуемом ряду наблюдений. На основе анализа ежедневных уровней воды в характерные по водности годы показана специфика влияния на них недельного вида регулирования стока применительно к верхнему и нижнему бьефу гидроузла Камской ГЭС.

Ключевые слова: водохранилище, уровенный режим, водный баланс, регулирование стока.

Введение

В своей работе С. Д. Муравейский писал: «Одну из наиболее сложных задач в географии представляет проблема возникновения, формировании и развития географических комплексов, или, что одно и то же, географического целого» (Китаев, 2004). Это высказывание относится и к водохранилищам. Они, хотя и являются результатом созидательной строго направленной деятельности человека, но представляют собой сложные географические комплексы, которые формируются и развиваются сообразно изменившимся условиям и оказывают существенное влияние на природу и хозяйство окружающей территории. В связи с этим одной из главных задач нужно считать комплексное изучение всего многообразия процессов и явлений в их диалектическом взаимодействии, протекающих во вновь созданных водоемах, особенно в первые годы их существования.

Водохранилище – антропогенное звено общего процесса стока, искусственный водоем, созданный на базе естественных (река, озеро) или в специально созданных чашах, новый водный объект с искусственно регулируемой по определенному плану емкостью и зеркалом, обладающий специфическими условиями формирования и гидрологическим режимом.

Водный баланс отражает характер регулирования стока водохранилищем, поскольку каждому типу регулирования соответствуют свои периоды и размеры наполнения и сработки водоема. Камское водохранилище является базовым в цепи каскада Камского, Воткинского и Нижнекамского водоемов. В целом, подразделяясь на приходные и расходные компоненты, водный баланс характеризует индивидуальные особенности

исследуемого водоема, поскольку отражает сложную взаимосвязь природных и антропогенных факторов. В частности, морфометрия и перестройка берегов, протекающая в водохранилище крайне интенсивно, влияют на приток подземных вод, фильтрацию через борта и ложе, аккумуляцию наносов. Активно участвует в формировании водного баланса и антропогенная деятельность. При формировании водохранилищ как новых географических объектов определяющим целый ряд факторов и явлений в водоёме и окружающих природных комплексов является режим уровня воды

Материалы и методы

Особенный интерес здесь представляет вопрос о зависимости между многоводными годами, определяемыми с точки зрения водного баланса и максимальными уровнями в районе переменного подпора Камского водохранилища. Насколько репрезентативно увязывать их между собой, или регулирование стока КамГЭС будет оказывать решающее влияние. Для этого были проанализированы ежедневные уровни воды за период с 2001 по 2015 гг. по разным гидрологическим постам (п. Керчевский, п. Тюлькино, г. Березники, верхний бьеф Камской ГЭС) и величины прихода воды в водохранилище и расхода через плотину КамГЭС за аналогичный период. При этом большое значение имеет водность года, т.к. она определяет максимальные и минимальные значения отметок. Для определения многоводного и маловодного (по уровенному режиму) годов в XXI в. проведен анализ ежедневных уровней воды с 2001 по 2015 гг. (Китаев и Шайдулина, 2017).

На всех исследуемых гидрологических постах Камского водохранилища в качестве многоводного однозначно признан 2002 г (а также 2009, 2014 гг.), а маловодного – 2010 г (а также 2005, 2012 гг.).

Результаты

Сопоставление водного баланса и уровенного режима показало, что в первом приближении среднегодовые уровни корректно отражают динамику водного баланса. Периоды многоводья и маловодья совпадают. Однако, можно отметить, что вследствие характера регулирования наблюдается сглаживание среднегодового уровня воды, что особенно проявляется на створе КамГЭС. Сделан вывод о достаточно высокой связи среднегодовых уровней воды с приходными и расходными компонентами водного баланса. Коэффициент корреляции колеблется от 0,68 до 0,92. Максимальная его величина приурочена к п. Керчевский, а минимальная к КамГЭС, что свидетельствует о речном режиме верхнего участка от п. Керчевский до п. Тюлькино, переменном – от п. Тюлькино до г. Березники, и водохранилищном – ниже, где колебания уровня стабильны, и не так сильно зависят от водности года. Однако надо иметь ввиду, что не всегда водность года, особенно повышенная и соответственно большой приток воды в водоем соответствует максимальным уровням воды в приплотинной и средней частях водохранилища и даже в районе переменного подпора, т.е. в верхней его части. Это подтверждается наибольшим (за рассмотренный период) приходом – 84,15 тыс. $м^3$ в 2015 г., и высоким, но не максимальным уровнем воды в этот период. При этом связь между приходом и величиной уровня прослеживается тем отчетливее, чем выше располагается водомерный пост.

Следующим шагом исследования явился анализ динамики ежедневных уровней воды верхнего и нижнего бьефов гидроузла и ежедневных величин прихода в водоем и сброса воды через Камский гидроузел для многоводного и маловодного годов (рис. 1).

Анализ ежедневных уровней воды верхнего и нижнего бьефов показал, что в верхнем бьефе изменение уровня достаточно сглаженное, и на нем не сильно сказывается влияние работы гидроузла Камской ГЭС, поскольку объем вод в приплотинной части водоема значительно больше, чем в нижнем бьефе. Для уровня нижнего бьефа характерно четкое влияние регулирования стока гидроузлом, и прежде всего – недельное. Сезонное регулирования сказывается на обоих уровнях.

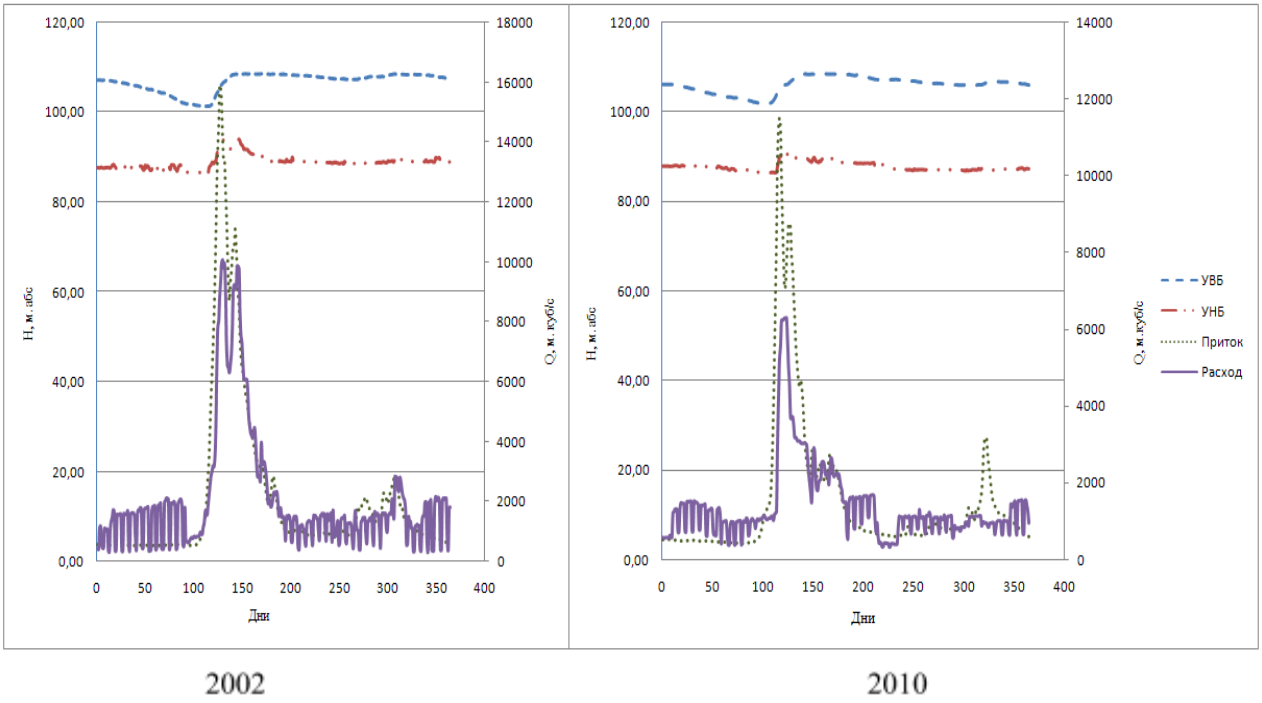


Рис. 1. Динамика ежедневных уровней воды верхнего и нижнего бьефов и ежедневных величин прихода и сброса воды через Камский гидроузел для многоводного (2002) и маловодного (2010) гг.

Анализ притока в водохранилище и сброса через ГЭС показал, что величины сброса воды в нижний бьеф Камского водохранилище в фазу весеннего наполнения существенно ниже по сравнению с величиной естественного притока воды. А в остальные фазы – становятся выше, особенно в фазу зимней сработки. Это является результатом сезонного регулирования стока гидроузлом.

Основное отличие маловодного и многоводного годов между собой в основном заключается в величине прихода в водоем и сброса вод в фазу наполнения водохранилища (рис. 1). В фазу зимней сработки водохранилища величина притока в оба года примерно одинакова – порядка 500 м^3/с. Величина сброса при этом различна. В маловодный год она порядка 1500 м^3/с, а в многоводный около 2000 м^3/с. В период летнее-осенней стабилизации расходы также различаются почти в 2 раза – 800 против 1600 м^3/с в маловодный и многоводный года соответственно.

Список литературы

Китаев А.Б. Актуальные вопросы гидрологии и гидрохимии Камского водохранилища / Перм. гос. ун-т ; под ред. А.Б. Китаева. Перм. ун-т, 2004: 219

Китаев А.Б., Шайдулина А.А. Взаимосвязь составляющих водного баланса и характера уровенного режима в районе переменного подпора Камского водохранилища // *Успехи современного естествознания*. № 5, 2017: 101-105

Role of water balance in the character of the level mode for the area of variable backwater of the Kama reservoir

Kitaev A.B.*, *Shaidulina A.A.
Perm State University, Perm
hydrology@psu.ru

Abstract: The reservoir is considered as anthropogenic link of the general flow process. The water balance of an artificial reservoir is presented as a characteristic reflecting the natural flow of water into the reservoir and the nature of the flow regulation of the hydropower station of the hydroelectric power station. The influence of the components of the water balance of the Kama Reservoir (the inflow of water into the reservoir and the discharge of water through the hydrosystem of the Kamskaya hydroelectric power station) is shown for the intra-annual course of the level regime in the upper and lower tunnels. This influence was considered in relation to the different phases of the hydrological regime of the reservoir - during the spring filling of the reservoir, during the winter period of its operation and during the summer-autumn stabilization of the water level. The features of this influence in characteristic years of water are noted. For this purpose, daily water levels from 2001 to 2015 were analyzed for different hydrological posts, as well as the amount of water inflow into the reservoir and the discharge of water through the hydrosystem during the same period. Many-water and low-water years have been identified in the series of observations under study. On the basis of the analysis of daily water levels in characteristic water years, the specificity of the influence of a weekly type of flow regulation on them has been shown in relation to the upper and lower tail of the hydropower station of the Kamskaya hydroelectric power station.

Keywords: reservoir, level regime, water balance, flow regulation.

Потоки тяжелых металлов в реках бассейна Селенги в паводковый период

***Козачук М.Н.*, Лычагин М.Ю.**
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва
marie_kozachuk@mail.ru

Аннотация: В настоящей работе выполнена количественная характеристика потоков тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в реках бассейна Селенги, основанная на результатах комплексных гидролого-геохимических исследований, проведенных в паводковый период летом 2016 года в российской и монгольской частях бассейна.

Выявлено, что содержания растворенных форм Cu, Zn, As, Pb и взвешенных форм Co, Cu, As, Pb в реках бассейна Селенги превышают среднемировые. Максимальные превышения отмечаются для $Zn_{раств}$ ниже г. Улан-Удэ (более, чем в 200 раз) и для $Cu_{взв}$ ниже ГОКа «Эрдэнэт» (в 16 раз).

Анализ соотношения форм миграции ТММ показал его зависимость от фазы водного режима: в межень для большинства элементов преобладает растворенная форма, а в паводок – взвешенная. Сильные ливни, прошедшие летом 2016 г. над большей частью бассейна Селенги, обусловили значительное увеличение мутности рек и существенное возрастание доли взвешенных форм миграции ТММ.

Геохимические потоки ТММ в целом возрастают вниз по течению Селенги, что связано с увеличением водности рек и антропогенным воздействием. В пределах района исследования поток растворенного As возрастает вниз по течению в 8 раз, взвешенного – в 2 раза; поток растворенной Cu в 19 раз, взвешенной – в 3 раза; поток растворенного Pb в 6 раз, взвешенного – в 4 раза; поток растворенного Zn в 5 раз, взвешенного – в 4 раза.

Ключевые слова: р. Селенга, оз. Байкал, геохимические потоки, тяжелые металлы, металлоиды, вода, взвешенные наносы, формы миграции.

Введение

Аквальные ландшафты занимают подчиненное положение в ландшафтно-геохимических системах, их состояние в значительной мере отражает состояние природной среды и характер техногенного влияния на ландшафты водосборных бассейнов (Перельман, Касимов, 1999). Одной из важнейших экологических проблем в настоящее время является сохранение оз. Байкал, крупнейшего пресного озера мира, включенного в список объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Наибольшим из его притоков является р. Селенга, обеспечивающая до 50% ежегодного поступления воды в озеро.

Бассейн Селенги, расположенный в пределах двух государств – Российской Федерации и Монгольской Республики, занимает площадь около 447 тыс. км^2, что составляет 82% водосборного бассейна Байкала. На его территории ведется активная сельскохозяйственная деятельность, добыча полезных ископаемых (цветные руды, редкие и благородные металлы, бурый уголь), здесь расположены крупные предприятия топливно-энергетической, легкой и пищевой промышленности, – все это поставляет загрязняющие вещества в водотоки, что может быть угрозой для экологического состояния озера Байкал. Среди загрязняющих веществ одними из приоритетных являются тяжелые металлы и металлоиды (ТММ), так как при высоких концентрациях они могут оказывать токсическое воздействие на живые организмы.

Данная работа является продолжением комплексных гидролого-геохимических исследований бассейна Селенги, проводимых географическим факультетом МГУ по

грантам Русского географического общества с 2011 г. Особенностью экспедиционных исследований 2016 года стал высокий паводок, охвативший большую часть бассейна и сильно повлиявший на мутность речных вод и, как следствие, на распределение ТММ в потоках миграции.

Целью работы стала количественная характеристика потоков тяжелых металлов и металлоидов в реках бассейна Селенги в паводковый период 2016 г. Были поставлены следующие задачи: выявление природных и техногенных факторов формирования потоков тяжелых металлов и металлоидов (ТММ); характеристика условий миграции и аккумуляции ТММ; анализ уровней содержания и особенностей пространственного распределения ТММ в компонентах аквальных ландшафтов рек бассейна Селенги; параметризация потоков растворенных и взвешенных форм ТММ.

Материалы и методы

Объектами исследования явились аквальные системы р. Селенги и ее притоков: рек Туул, Орхон, Хараа, Эроо, Бороо, Хангол, Шарын-Гол в монгольской и Джида и Чикой в российской части бассейна. Во время полевых работ было отобрано 39 проб воды и 39 проб взвешенных наносов; измерен 21 расход воды. Точки опробования выбирались в соответствии с природными условия и антропогенной нагрузкой.

Пробы воды были отфильтрованы на вакуумной установке через мембранные фильтры Millipore с диаметром пор 0,45 мкм. Были измерены pH и Eh потенциометрическим методом, TDS (минерализация) – кондуктометрическим, определен макрокомпонентный состав вод, гранулометрический состав взвешенных наносов. Содержание ТММ определялось атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES и ICP-MS) во Всероссийском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского.

Содержания растворенных форм ТММ сравнивались со среднемировыми оценками по J.Gaillardet, J.Viers, B.Dupre (2004), взвешенных форм – по В.С. Савенко (2006).

Геохимические потоки ТММ, переносимых водотоками в растворенных и взвешенных формах, могут быть охарактеризованы на основе балансовых моделей. Для их построения используются содержания ТММ в воде и взвеси и величины расходов воды. В данной работе были построены балансовые модели ТММ для части бассейна Селенги, начиная от среднего течения р. Орхон и заканчивая г. Улан-Удэ. Использовались данные для рек Туул, Орхон, Хараа, Бороо, Хангол, Эроо, Джида и Селенга. Для Орхона расчет потоков был проведен на основе трех створов, для Селенги – пяти.

Результаты

Природное поступление ТММ в аквальные ландшафты возможно из пород, слагающих территорию бассейна, при выработке и обогащении месторождений металлов, с промышленными и коммунально-бытовыми стоками. В районе исследования основными антропогенными источниками металлов являются горнопромышленные центры – Заамар, Эрдэнэт и Закаменск, а также крупные города – Улан-Удэ и Улан-Батор.

Воды рек бассейна Селенги пресные и ультрапресные, они имеют нейтральную и слабощелочную реакцию, окислительную обстановку, гидрокарбонатно-кальциевый состав. Среднее содержание взвеси в водотоках составляет около 176 мг/л, что меньше, чем в среднем в реках мира. Во взвешенных наносах преобладает фракция тонкого песка.

Проведенный анализ показал, что наибольшей контрастностью распределения в воде обладают Cu, Zn, As и Pb. Высокие содержания растворенных форм ТММ были отмечены в р. Хангол ниже ГОКа «Эрдэнэт», где содержание меди оказалось в 13 раз выше среднемирового, и в р. Селенге ниже сброса сточных вод городских очистительных сооружений г. Улан-Удэ, где содержание цинка более чем в 200 раз превысило среднемировое.

К числу важнейших техногенных источников тяжелых металлов в бассейне Селенги относится Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат в г. Закаменске, с

воздействием шахтных вод и хвостохранилищ которого связаны экстремально высокие содержания Mo, Cd, Cu, Pb, Zn и Mn в водах р. Модонкуль (притока р. Джиды), на 1-2 порядка превышающие фоновые и среднемировые значения (Касимов и др., 2016).

Во взвешенных формах наибольшее превышение среднемировых содержаний характерно для Cd, Cu, Zn и Pb. Максимальное содержание свинца, в 2 раза превышающее среднемировое, было отмечено в р. Селенге ниже сброса сточных вод г. Улан-Удэ, цинка (в 4 раза) – в р. Туул ниже сброса сточных вод г. Улан-Батора, меди (в 16 раз) – в р. Хангол ниже ГОКа «Эрдэнэт», кадмия (в 40 раз) – в р. Модонкуль ниже г. Закаменска. Для оценки степени загрязнения взвешенных наносов использовался суммарный показатель Zc. На большей части бассейна Zc не превышает 3, что свидетельствует о низком уровне загрязнения. Высокий уровень загрязнения (Zc = 83) был отмечен в р. Хангол ниже горно-обогатительного комбината. Наибольшее загрязнение взвешенных наносов (Zc > 128) характерно для р. Модонкуль ниже г. Закаменска (Касимов и др., 2016).

Считается, что главной формой переноса ТММ речными водами является взвешенная, на долю которой приходится до 90-99% от общего содержания в речных водах (Лисицын, Гордеев, 1974; Гордеев, 2012; Мур, Рамамурти, 1987). Как показали исследования в бассейне Селенги (Касимов и др., 2016), соотношение форм во многом зависит от особенностей гидрологического режима рек. В межень мутность речных вод уменьшается, что увеличивает относительное содержание растворенных форм ТММ, как подвижных в щелочной среде, так и менее миграционно-активных. В условиях высокого паводка преобладающей формой миграции ТММ оказалась взвешенная.

Объемы потоков разных форм ТММ обусловлены их соотношением в растворенной и взвешенной формах и связаны с водностью рек. В монгольской части бассейна расходы воды, как правило, ниже, чем в российской. В 2016 г. исключением явилось среднее течение Орхона, где в связи с выпадением ливневых осадков расход воды возрастал до 364 м^3/с. Ниже слияния с р. Туул расход воды в Орхоне уменьшался до 167 м^3/с, а у впадения в р. Селенгу – до 98 м^3/с. Расходы воды в Селенге в целом постепенно увеличивались вниз по течению: до впадения р. Орхон – 307 м^3/с, ниже слияния с Орхоном – 500 м^3/с, в районе г. Улан-Удэ они составили 1200 м^3/с.

Содержание взвеси в реках бассейна Селенги варьирует в широких пределах, что обусловлено высоким паводком в период проведения полевых исследований, а также воздействием различных промышленных объектов. Среднее значение для рек монгольской части бассейна в 2016 г. составило 165 мг/л, а российской – 57 мг/л. В р. Туул в районе разработок золота содержание взвеси составляло 75 мг/л, в среднем течении Орхона – 224 мг/л, в р. Хараа – 280 мг/л. В р. Селенге выше впадения р. Орхон мутность составляла 41 мг/л, ниже впадения – 106 мг/л. Вниз по течению содержание взвеси постепенно уменьшалось до 62 мг/л в г. Улан-Удэ.

Наибольшие превышения среднемировых содержаний как в воде, так и во взвеси, были отмечены для As, Cu, Pb, Zn. К примеру, для потока мышьяка отмечено превышение растворенного мышьяка над взвешенным, однако в месте впадения р. Туул в р. Орхон поступление взвешенного мышьяка выше в 1,5 раза (20 кг/сут и 34 кг/сут), что обусловлено влиянием золотодобычи, которая увеличивает мутность вод и, как следствие, относительное содержание взвешенных частиц. Снижение объемов взвешенного мышьяка вниз по течению связано с отсутствием антропогенных источников его поступления. Высокий литогеохимический фон элемента проявляется в увеличении количества растворенных форм.

Поток взвешенных форм меди в целом больше, чем растворенных. Поток растворенной меди постепенно снижается по мере удаления от крупных техногенных источников. Для геохимических потоков Cu в рр. Туул, Хангол и Хараа отмечено

возрастание доли взвешенных форм. Ниже впадения р. Орхон в Селенгу поток растворенных форм увеличился почти в 2 раза – 32 и 62 кг/сут, а взвешенных в 6 раз – 28 и 171 кг/сут. Далее вниз по течению с увеличением водности реки возрастали и потоки Cu. В районе г. Улан-Удэ поток растворенной меди составил 96 кг/сут, а взвешенной – 196 кг/сут.

Выводы

- Природное поступление тяжелых металлов и металлоидов в реки бассейна Селенги обусловлено литогеохимическими особенностями горных пород и наличием месторождений полезных ископаемых.
- Содержания растворенных форм Cu, Zn, As, Pb и взвешенных форм Co, Cu, As, Pb в реках бассейна Селенги превышают среднемировые. Максимальные превышения отмечаются для $Zn_{раств}$ ниже г. Улан-Удэ (более, чем в 200 раз) и для $Cu_{взв}$ ниже ГОКа «Эрдэнэт» (в 16 раз).
- Соотношение форм миграции элементов зависит от фазы водного режима – в межень для большинства элементов преобладающей формой является растворенная, а в паводок – взвешенная. Сильные ливни на большей части бассейна летом 2016 г. значительно повлияли на мутность рек и, следовательно, на распределение ТММ – высокий паводок резко увеличил содержание взвешенных форм ТММ.
- Потоки ТММ в целом возрастают вниз по течению Селенги, что связано с увеличением водности рек и антропогенным воздействием. В пределах района исследования поток растворенного As возрастает вниз по течению в 8 раз, взвешенного – в 2 раза; растворенной Cu в 19 раз, взвешенной – в 3 раза; растворенного Pb в 6 раз, взвешенного – в 4 раза; растворенного Zn в 5 раз, взвешенного – 4 раза.

Список литературы

Гордеев В.В. Геохимия системы река – море. М.: И.П. Матушкина И.И., 2012. – 452 с.

Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Чалов С.Р., Шинкарева Г.Л., Пашкина М.П., Романченко А.О., Промахова Е.В. Бассейновый анализ потоков вещества в системе Селенга-Байкал // Вестник Московского Университета, Серия География. – 2016. – №3. – С. 67-81.

Лисицын А.П., Гордеев В.В. О химическом составе взвеси и воды морей и океанов // Литология и полезные ископаемые. – 1974. – № 3. – С. 38-58.

Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водоемах. – М.: Наука, 1987. – 288 с.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрея-2000, 1999. – 610 с.

Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. – 174 с.

Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace Elements in River Waters // Treatise on Geochemistry. Vol. 5 / Ed by H.D. Holland, K.K. Turekian. Amsterdam: Elsevier, 2004. P. 225-272.

Fluxes of heavy metals in Selenga river basin during summer flood

Kozachuk M.N.*, *Lychagin M.Yu.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
marie_kozachuk@mail.ru

Abstract: In this paper quantitative characteristics of fluxes of heavy metals and metalloids (HMM) in the Selenga river basin are described. The study is based on the results of the complex hydrological and geochemical research that was held in the Russian and Mongolian parts of the basin in 2016 during the summer flood period.

The study showed, that the content level of dissolved forms of Cu, Zn, As, Pb and suspended forms of Co, Cu, As, Pb in the Selenga river basin outnumbers the world average values. The maximum excesses were found for dissolved Zn in the downstream of Ulan-Ude city (200 times higher than the world average values) and for suspended Cu in the downstream of "Erdenet" mining company (16 times higher than the world average values).

The analysis of the particulate/dissolved models of HMM showed, that the migration of chemical elements in their forms depends on the water phase. During the low water for most of the chemical elements the prevailing form is the dissolved one and during floods – the suspended one. Heavy rains on the most part of the basin during the summer of 2016 influenced the turbidity of the river water and, as the result, on the distribution of the elements' forms. High water increased the content of suspended forms.

The geochemical fluxes of HMM are increasing to the downstream of the Selenga river, that is related to the growing water content and the anthropogenic influence. In the studied area the geochemical flux of dissolved As increased eightfold downstream, the flux of suspended As doubled downstream; the geochemical flux of dissolved Cu increased 19 times, the flux of suspended Cu – 3 times; the geochemical flux of dissolved Pb increased 6 times, dissolved – 4 times; the flux of dissolved Zn increased 5 times, suspended – 4 times.

Keywords: Selenga River, Baikal Lake, geochemical fluxes, heavy metals, metalloids, water, suspended matter, migration forms

Проблемы статистик гидрохимических показателей качества воды в естественных водотоках

Лепихин А.П.

«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук

lepihin@mail.ru

Аннотация: Как правило, в основе статистической обработки любой информации, в том числе и гидрохимической, лежит априорная уверенность, что погрешность оценок статистических параметров уменьшается с увеличением объема используемых выборок. Состоятельность статистических оценок, как правило, принимается в качестве априорного условия статистической обработки. Данное утверждение состоятельности статистических оценок справедливо для выборок, описываемых нормальным распределением или связанных с ним распределений. В то же время, исходя из особенностей генезиса большинства химических показателей качества воды в реках и других водотоках-приемниках, их статистические распределения при росте коэффициентов вариации расходов водотоков-приемников $Q(t)$ и интенсивности поступления загрязняющих веществ $q(t)$ асимптотически приближаются к распределению Коши, для которого не существует устойчивых не только второго и третьего статистических моментов, но и первого. Так как содержание гидрохимических показателей качества воды очень тесно связано с динамикой расходов, то представляет непосредственный интерес анализ функций распределений, исходя из характера распределений Q, а более в общем случае и распределения $q_i(t)$. В работе, исходя из простейшего балансового соотношения $C(t)=q(t)Q(t)$, были поставлены и выполнены численные эксперименты на основе метода Монте-Карло с использованием программного продукта Mathcad для исследования статистических свойств процесса $C(t)$. С этой целью были сгенерированы статистически выборки объемом 106 членов для различных функций распределения как $Q(t)$, так и $q(t)$. В качестве функций распределения, используемых для описания, рассматривались нормальное, гамма и логнормальное при различных значениях коэффициента вариации. Затем данные выборки разбивались на 103 подвыборки объемом в 103 члена каждая. Проведенный их статистический анализ показал, что средние арифметические оценки являются значительно менее устойчивыми оценками по сравнению с медианой. Исследовалась так же ситуация, когда $q(t)=const$. Перемещение в знаменатель случайного процесса $Q(t)$ принципиально меняет статистику $C(t)$, их параметрические оценки определяются характером их функций распределения, а статистические распределения химических показателей качества воды, как правило, не имеют нормального распределения.

Ключевые слова: гидрохимические показатели качества воды, статистические оценки, численное моделирование.

Как правило, в основе статистической обработки любой информации, в том числе и гидрохимической, лежит априорная уверенность, что погрешность оценок статистических параметров уменьшается с увеличением объема используемых выборок. Состоятельность статистических оценок, как правило, принимается в качестве априорного условия статистической обработки.

Данное утверждение состоятельности статистических оценок справедливо для выборок, описываемых нормальным распределением или связанных с ним распределений. В то же время нормальность распределения, исходя их условий выполнения центральной

предельной теоремы (ЦПР), должна быть свойственна очень широкому кругу процессов. Однако существуют и другие распределения, в частности распределение Коши (Кобзарь, 2006), для которого не существует устойчивых не только второго и третьего статистических моментов, но и первого. При этом необходимо подчеркнуть, что данные распределения не экзотика, и это необходимо учитывать при решении практических задач. Если при решении прикладных задач гидрохимии представляется приемлемым отказ от нормальности распределения (Лепихин, 2012), однако совершенно недопустимой рассматривается статистическая неустойчивость оцениваемых параметров, при этом данные распределения очень тесно связаны между собой. Если имеется два независимых процесса $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$, описываемых нормальным распределением, то распределение $Z(t)=\frac{\xi_1(t)}{\xi_2(t)}$ будет асимптотически приближаться к распределению Коши при $Cv_1 \to \infty$ и $Cv_2 \to \infty$ (Кобзарь, 2006). Это положение имеет принципиальное значение для обработки и анализа информации.

Рассмотрим данную ситуацию на примере обработки гидрохимической информации. Исходя из простейших балансовых соотношений имеем

$$C_i(t)=\frac{q_i(t)}{Q(t)}, \quad (1)$$

где $C_i(t)$ – осреднённая по сечению потока концентрация *i*-го загрязняющего вещества;

$q_i(t)$ – интенсивность поступления *i*-го поллютанта в водоток.

Если $q_i(t)$ также зависит от $Q(t)$, что характерно для эндогенных поллютантов, т.е. $q_i(Q(t)) \approx q_{i0} \cdot \psi(Q(t))$, соответственно, $C_i(t)=\frac{q_{i0} \cdot \psi(Q(t))}{Q(t)}$ или, принимая $f(Q)=\frac{\psi(Q)}{Q}$,

$$C(Q)=q \cdot f(Q). \quad (2)$$

Уравнения типа (1)-(2) весьма широко используются в инженерной гидрохимии (Никаноров, 1989). Для построения эффективной технологии их статистической обработки принципиальное значении имеет характер их функций распределения. При этом, статистические распределения химических показателей качества воды, как правило, не имеют нормального распределения (Лепихин и Возняк, 2012). Так как содержание гидрохимических показателей в воде очень тесно связано с динамикой расходов воды, то представляет непосредственный интерес анализ функций распределения, исходя из характера распределений Q, а в более общем случае и распределения $q_i(t)$.

Очень часто рассматривается простейшая ситуация, когда содержание рассматриваемого поллютанта определяется только расходом водотока, то в этом случае нетрудно получить функцию распределения рассматриваемого химического показателя, исходя из функций распределений расходов воды Q в самом водотоке – $P_Q(Q)$. Так в этом случае функция распределения $P(C)$ для концентрации поллютанта в воде C будет иметь следующий вид (Кобзарь, 2006):

$$P_c(C)=P_Q(f^{-1}(C)) \cdot \left|\frac{df^{-1}(C)}{dC}\right|.$$

Нетрудно видеть, что плотность распределения химических показателей качества воды будет иметь в этом случае нормальное распределение, только если нормальным будет распределение $Q(t)$, а связь между концентрацией C и расходом воды Q – линейной.

Если расход сброса q независим от Q и является константой, то получается $C(t) \sim q/Q(t)$. Такого типа зависимость достаточно часто встречается и используется в прикладных гидрологических исследованиях. В этом случае, соответственно, будем иметь

$$P_C(C) = P_Q(q/C) \cdot \frac{1}{C^2}. \quad (3)$$

Более сложная ситуация, когда *q(t)* также является случайной величиной с интегральной функцией распределения F_q. В этом случае функция распределения должна описываться соотношением

$$F_{q/Q}(C) = \int_0^\infty P_Q(X_1) F_q(C \cdot X_1) dX_1. \quad (4)$$

При этом весьма актуальна задача, какими свойствами должно обладать распределение *P(C)*, описываемое соотношениями (3)-(4).

К сожалению, даже в простейшем случае, когда распределения процессов *q(t)* и *Q(t)* $F_{q/Q}(C)$ нормальны, функция распределения имеет весьма громоздкий вид и затруднительна для анализа. В то же время, при $Cv_q >> 0$ и $Cv_Q >> 0$ она асимптотически приближается, как уже отмечалось, к распределению Коши.

Поэтому исследования статистик таких процессов значительно удобней проводить численно, на основе достаточно хорошо отработанного в статистической гидрологии метода Монте-Карло. Разработка методов получения эффективных статистических оценок для не Гауссовских, асимметричных распределений, характеризующихся значимой внутрирядовой связанностью, являлась, как уже отмечалось, одной из главных задач статистической гидрологии, при этом наряду с аналитическими методами, в первую очередь, используются методы прямого статистического моделирования – метод Монте-Карло.

В рассматриваемой задачи моделировались 2000 выборок с априорно задаваемыми статистическими свойствами объемом 50 членов каждая, при этом принималось *Cv*=1, как для расхода воды водотока *Q*, так и для интенсивности поступления поллютантов в водоток *q*. Результаты численного моделирования при *q = 1, Q = 1* представлены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты численных экспериментов по схеме Монте–Карло статистических оценок химических показателей качества воды

Модельная оценка на основе численного моделирования *C(t)=1/Q(t), P(Q)* - Гамма-распределение						
Выборка 100 000 значений	*N*	Среднее $\bar{\bar{C}}$	Медиана $\hat{\hat{C}}$	$\sigma_{выб}$	Cs	σ_{Cs}
Среднее из 2000 выборок объемом по 50 членов	2000	9,874	5,075	3,168	18,486	0,055
Медиана из 2000 выборок объемом по 50 членов	2000	1,491	1,439	**0,214**	0,936	0,055
Модельная оценка на основе численного моделирования *C(t)=q(t)/Q(t), P(q)* – нормальное распределение, *P(Q)* – Гамма-распределение						
Выборка 100 000 значений	*N*	Среднее $\bar{\bar{C}}$	Медиана $\hat{\hat{C}}$	$\sigma_{выб}$	Cs	σ_{Cs}
Среднее из 2000 выборок объемом по 50 членов	2000	10,725	4,703	4,703	21,053	0,055
Медиана из 2000 выборок объемом по 50 членов	2000	1,216	1,174	**0,286**	0,720	0,055

Данные оценки на независимом материале подтвердили значительно большую эффективность применения при обработке гидрохимической информации непараметрических оценок, в первую очередь, эффективность использования медианных значений по сравнению со средними арифметическими оценками.

Выводы

Гипотеза о «нормальности» распределения гидрохимических показателей качества воды, об эффективности применения при их статистической обработке параметрических методов, как правило, не оправдывается. Более того, сама концепция априорной

статистической устойчивости при анализе гидрохимических показателей качества воды далеко не универсальна. Если в формировании гидрохимического режима доминирующую роль играют процессы разбавления, то статистические моменты, в том числе и первый, становятся статистически неустойчивыми, поэтому при анализе гидрохимической информации целесообразно переходить на непараметрические оценки.

Список литературы

Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М. Физмалит, 2006. 813 с.

Лепихин А.П., Возняк А.А. Статистические функции распределения гидрохимических показателей качества воды поверхностных водных объектов // Водное хозяйство России. 2012. № 4. С. 21–32.

Никаноров А.М. Справочник по гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 390 с.

Problems of statistics of hydrochemical indices of water quality in natural watercourses

Lepikhin A.P.

"Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences" - a branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

lepihin@mail.ru

Abstract: As a rule, the basis for statistical processing of any information, including hydrochemical information, is a priori confidence that the error in estimates of statistical parameters decreases with the increase in the volume of samples used. The consistency of statistical assessments, as a rule, is accepted as an a priori condition of statistical processing. This statement of consistency of statistical estimates is valid for samples described by a normal distribution or distributions associated with it. At the same time, based on the features of the genesis of most chemical water quality indicators in rivers and other watercourses-receivers, their statistical distributions with an increase in the coefficients of variation of discharge of the water receivers Q (t) and the intensity of pollutants q (t) asymptotically approach the distribution Cauchy, for which there are no stable not only second and third statistical moments, but also the first. Since the content of hydrochemical indicators of water quality is very closely related to the dynamics of discharges, it is of direct interest to analyze the distribution functions based on the nature of the distributions *Q*, and more generally in the distribution *q(t)*. Based on the simplest balance $C(t)=q(t)Q(t)$, numerical experiments were performed and performed on the basis of the Monte Carlo method using the *Mathcad* software product to study the statistical properties of the *C(t)* process. To this end, statistically samples with a size of 106 terms were generated for different distribution functions, both *Q(t)* and *q(t)*. As the distribution functions used for the description, normal, gamma and lognormal distribution were considered for different values of the coefficient of variation. Then the sample data was broken into 103 subsamples with a volume of 103 members each. Their statistical analysis showed that the average arithmetic estimates are significantly less stable estimates in comparison with the median. We also investigated the situation when $q(t)=const$. Displacement to denominator of the random process *Q(t)* fundamentally changes the statistics of *C(t)*, their parametric estimates are determined by the nature of their distribution functions, and the statistical distributions of chemical water quality indicators, as a rule, do not have a normal distribution.

Keywords: hydrochemical indicators of water quality, statistical estimates, numerical modeling

Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример

Лепихин А.П.[1], Возняк А.А.[2], Веницианов Е.В.[3]
[1]Пермский федеральный исследовательский центр, Пермь
[2]ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Пермь
[3]ФГБУН Институт водных проблем РАН, Москва
AAVoznyak@gmail.com

Аннотация: В статье определены три цели, вынесенные в заголовок. Первая – доказать необходимость включения в нормативные документы по регламентации антропогенных воздействий на водные объекты разработку региональных предельно-допустимых концентраций (ПДК). Вторая – предложить методический подход к расчету региональных ПДК, включая изложение принципов, теоретического обоснования и расчетных формул. Третья – показать реализацию предлагаемого научно-методического подхода к расчету региональных ПДК на конкретном примере.

В рамках раскрытия первой цели рассмотрен хронологический и методологический порядок решения вопросов ограничения хозяйственного использования водных объектов в России. Проанализированы «экологический» и «пользовательский» подходы к обоснованию допустимых гидрохимических нагрузок на водные объекты. Рассмотрены первые правила отведения сточных вод, разработанные в России, и правила, действующие в настоящее время. Перечислены основные недостатки действующей в настоящее время системы регламентации антропогенных воздействий на водные объекты. Из пяти перечисленных недостатков в данной статье предлагается решение для одного – отсутствие учета почвенных и геохимических особенностей водосборной площади бассейна. Рассмотрены причины некорректности действующих общегосударственных ПДК при разработке адекватных нормативов допустимых сбросов сточных вод.

В рамках раскрытия второй цели предложен подход к расчету региональных ПДК на основе оценок непараметрических статистических показателей. Основной принцип предлагаемого подхода заключается в том, что предельно допустимая нагрузка должна быть такой, чтобы действующая система мониторинга не фиксировала статистически значимые отклонения регламентируемых показателей качества воды от их естественных характеристик. Решается проблема оценки «фоновой» концентрации путем перехода от точечных оценок к функциям распределения рассматриваемых показателей качества воды, от точечных показателей – к интервальным оценкам. При этом учитывается, что статистическое распределение химических показателей качества воды водных объектов не всегда может быть описано нормальным распределением.

В рамках раскрытия третьей цели представлены результаты расчетов региональных показателей $C_{ПДКрег}$ по данной схеме для р. Урал в районе г. Магнитогорска.

Ключевые слова: качество природных вод, система управления качеством вод, региональные ПДК, фоновые концентрации.

Введение

Вопросы ограничения хозяйственного использования водных объектов начали рассматриваться с конца XIX века, когда водные объекты под воздействием интенсивной хозяйственной деятельности стали существенно изменять свои биологические и химические свойства. Первые правила отведения сточных вод в водные объекты на достаточно серьезной научной основе были разработаны под руководством проф. Г.В. Хлопина специальным медицинским Советом Министерства Внутренних Дел России в

1908 г. (Хлопин, 1917). Согласно данному документу «Сточные воды не должны изменять к худшему в санитарном отношении химический состав и физические свойства воды тех водоемов, в которые они отводятся, и не должны вызывать заметные изменения в фауне и флоре этих водоемов» (цит. по Хлопин, 1917). Данные требования обеспечивали сохранение качества воды, но не гарантировали водопользователю в явном виде потребительских свойств воды водного объекта. В связи с этим стала активно разрабатываться альтернативная концепция охраны вод, согласно которой сброс сточных вод не должен ограничивать три приоритетных вида водопользования: рыбное хозяйство, питьевое и промышленное водоснабжение. В качестве критерия безопасного использования водного объекта для отдельных видов водопользователей была предложена концепция единых общегосударственных предельно-допустимых концентраций (ПДК). Таким образом, при разработке концепции регламентации антропогенных воздействий практически 100 лет назад столкнулись два противоположных подхода к обоснованию допустимых нагрузок: экологический, направленный на обеспечение устойчивого функционирования сложившихся биоценозов, и пользовательский, направленный на гарантированное обеспечение отдельных видов водопользования. С конца 30-х годов вторая концепция заняла доминирующее положение в отечественном санитарном и водном законодательствах. Первые санитарно-гигиенические ПДК для водоемов хозяйственного использования были опубликованы в 1940 г. под ред. А.Н. Сысина (Сан. хар-ка, 1940). В последующем была разработана также единая общегосударственная система ПДК для водоемов рыбохозяйственного использования. Значения этих ПДК впервые были опубликованы в 1957 г.

Материалы и методы

В настоящее время система единых общегосударственных ПДК остается основным инструментом нормирования не только водоотведения, но и любых экологических оценок состояния водного объекта, включая разработку НДВ и СКИОВО.

Данные нормативы в своей традиционной постановке разрабатываются на основе анализа поведения некоторых тест-систем (биологических объектов) в некоторых стандартизованных модельных условиях. При этом в качестве ПДК принимаются пороговые значения, вызывающие видимые отклонения от нормы у наиболее чувствительных групп организмов (Моисеенко, 2017). При таком подходе устанавливаемые значения ПДК достаточно условны и существенно различаются в разных странах, несмотря на проводимые попытки унификации методов их установления. Так в нашей стране по сравнению с другими странами (Canadian WQG 2004; Schudoma 2001; Persson 2012) очень жесткие нормативы для меди, ванадия, марганца, в то же время существенно менее жесткие по кадмию, мышьяку, свинцу, алюминию (Моисеенко, 2017).

В настоящее время очень широко обсуждаются недостатки данной системы регламентации, основными из которых являются:

- неуниверсальность принципа пороговости, лежащего в основе ПДК;
- сложность и практическая невозможность оценки при большом количестве рассматриваемых поллютантов "комбинаторных" эффектов;
- неучет почвенных и геохимических особенностей водосборной площади бассейна, что отражается в естественной фоновой концентрации;
- отсутствие эффективных критериев подобия между модельными тест-системами, используемыми для оценок ПДК, и рассматриваемыми водными объектами;
- неучет продолжительности непрерывного «стояния» данной концентрации загрязняющих веществ в водном объекте.

Проблемы принципа пороговости, а также комбинаторность воздействия токсикантов подробно рассматриваются в статье (Веницианов и др., 2018). В данной работе основное

внимание уделено учету региональных почвенно-геохимических особенностей водосборных территорий.

Региональные естественные, в первую очередь, почвенно-геохимические характеристики водосборной площади водных объектов могут существенно различаться для различных территорий, поэтому содержание эндогенных для данных водных объектов химических ингредиентов может различаться в десятки раз. Модельные тест-объекты, на которых были установлены нормативы ПДК, принципиально отличаются от естественных водных объектов не только размером, морфометрическими характеристиками, но и гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим режимами.

Исходя из стохастической природы формирования откликов биологических систем на внешние воздействия на организменном уровне задачи разграничения "норм" и "патологий" решаются статистическими методами (Лепихин и Мирошниченко, 2000). При этом рассматривают не отдельную особь, а ансамбль, представляющий статически значимую выборку. Аналогичный подход на уровне биоценозов практически невозможен в силу их достаточной уникальности. В то же время токсикологические эксперименты на уровне отдельных особей для обоснования экологических нормативов естественного водного объекта являются недостаточными.

Для решения задачи предложен подход к расчету региональных ПДК на основе оценок непараметрических статистических показателей. Основной принцип предлагаемого подхода заключается в том, что предельно допустимая нагрузка (ПДН) должна быть такой, чтобы действующая система мониторинга не фиксировала статистически значимые отклонения регламентируемых показателей качества воды от их естественных характеристик.

Решается проблема оценки «фоновой» концентрации путем перехода от точечных оценок к функциям распределения рассматриваемых показателей качества воды, от точечных показателей – к интервальным оценкам. Особенность проблемы в том, что статистическое распределение химических показателей качества воды водных объектов далеко не всегда может быть описано нормальным распределением, принятым в Методике (РД 52.24.622-2001), разработанной Росгидрометом.

Недостатки такой схемы регламентации были продемонстрированы неэффективностью многочисленных реализаций методики расчета нормативов НДВ (Метод. указ. НДВ, 2007), которая полностью основана на методике расчета фоновых концентраций в РД 52.24.622-2001, не учитывающей специфику расчета и использования фоновых концентраций и региональных ПДК.

Результаты

При решении практических задач установления региональных нормативов *С*пдк в качестве $C_ф$ целесообразно использовать квантиль порядка p = 0,75, а в качестве доверительного интервала его нижней границы принимать обеспеченность $p1$ = 0,95.

нижней границы принимать обеспеченность $p1$ = 0,95.

Квантиль порядка 0,75 (верхний квантиль) используется также в качестве целевого показателя при разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), а граница с обеспеченностью 0,95 – в действующих методических указаниях по расчету фоновых концентраций (РД 52.24.622-2001). Следует также отметить, что в США в качестве «желательного» показателя качества воды также используется квантиль порядка 0,75 (US EPA. 2000a.).

Таким образом,

$$C_{ПДКрег} \approx C_{75} - \frac{Z_{75}^{95}(\sigma)}{\sqrt{N}}, \qquad (1)$$

где $\frac{Z_{75}^{95}(\sigma)}{\sqrt{N}}$ – нижний доверительный интервал с обеспеченностью 0,95 квантили порядка 0,75 при объеме выборки N.

Для распределения с характерной асимметрией $C_S \approx 2 \div 3\ C_V$ среднеквадратичная оценка квантилей порядка 0,75 составит ~ 1,2 ÷ 1,3σ. Учитывая, что квантиль стандартизованного нормального распределения порядка 0,95 равна $Z_P = 1,64$ и, подставляя данное соотношение в (1), имеем:

$$C_{ПДКрег} = C_{75} - \frac{2,15\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (2)$$

Данная оценка для расчета региональных фоновых концентраций является значительно более корректной по сравнению с методикой (Метод. указ. НДВ, 2007), когда в качестве нормативной оценки предлагается верхний доверительный интервал среднего значения.

Принципиальное их различие заключается в том, что полученные по методике (Метод. указ. НДВ, 2007) значения ПДК увеличиваются с уменьшением объема выборки, а по соотношению (2) снижаются, что методически представляется значительно более обоснованным.

Впервые на основе данной технологии были разработаны региональные ПДК для ряда тяжелых металлов бассейна Верхней Камы. Результаты данных исследований были опубликованы в (Веницианов и др., 2015).

В данной статье представлены результаты расчетов региональных показателей Спдк по данной схеме для р. Урал в районе г. Магнитогорска (табл. 1).

Табл. 1. Расчетные значения региональных ПДК (ПДК$_{рег}$) для загрязняющих веществ р. Урал в створе г. Магнитогорска по данным наблюдений за период 2006-2016 гг.

Наименование вещества	**Объем выборки, N**	**ПДК$_{р/х}$, мг/л**	**ПДК$_{с/г}$, мг/л**	**ПДК$_{рег}$, мг/л**
Взвешенные вещества	104	7,35	7,85	3,48
Кальций	56	180	25-130	35,0
Магний	53	40	5-65	10,8
Хлориды	53	300	150-250	8,73
Сульфаты	52	100	150-250	26,2
Железо общее	103	0,1	0,3	0,04
Марганец	**105**	**0,01**	**0,05**	**0,06**
Нитриты	97	0,08	0,005-0,5	0,028
Нитраты	97	40	5-20	0,212
Аммоний-ион	98	0,5	0,05-0,1	0,036
Цинк	96	0,01	3-5	0,002
Медь	**97**	**0,001**	**1**	**0,0019**
Хром 6-и вал.	93	0,02	0,03-0,05	0,0008
Никель	95	0,01	0,02	0,0046
Фенолы	102	0,001	0,0005	0,0009
Нефтепродукты	104	0,05	0,01-0,05	0,01
Цианиды	97	0,05	0,035	0,005
ХПК	90	30	30	18,6
БПК$_п$	95	3	-	1,74

В соответствии с таблицей 1 только 2 ингредиента (марганец и медь) требуют введения региональных ПДК в связи с повышенным естественным их содержанием в воде р. Урал. Остальные из рассмотренных элементов имеют концентрацию в речной воде ниже допустимых рыбохозяйственных и санитарно-гигиенических. Поэтому для расчета

НДС по этим ингредиентам возможно использование федеральных ПДК, как это предусмотрено нормативными документами [2].

Выводы

Действующая система регламентации техногенных воздействий на поверхностные водные объекты, основанная на единых общегосударственных предельно-допустимых концентрациях (ПДК), имеет серьезные недостатки, связанные, в частности, с недоучетом почвенных и геохимических особенностей водосборной площади бассейна конкретных водных объектов.

Предложена технология расчетов региональных ПДК на основе оценок непараметрических статистических показателей. Данная технология, в отличие от других методических подходов, позволяет весьма эффективно учитывать объем рассматриваемых статистических выборок и их изменчивость.

На основе анализа гидрохимической информации разработаны региональные значения ПДК для р. Урал – г. Магнитогорск по 20 показателям. Два ингредиента (марганец и медь) требуют введения региональных ПДК в связи с повышенным естественным их содержанием в воде р. Урал.

Список литературы

Веницианов Е.В., Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Губернаторова Т.Н. Разработка и обоснование региональных показателей качества воды по содержанию тяжелых металлов для водных объектов бассейна Верхней Камы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, №3, 2015: 50-64.

Веницианов Е.В., Аджиенко Г.В., Возняк А.А., Чиганова М.А. Современные проблемы оценки, регулирования и мониторинга качества поверхностных вод // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, №1, 2018: в печати.

Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Статистические функции распределения показателей качества воды естественных водных объектов. Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление, №3, Т.2, 2000: 249-258.

Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утв. Приказом МПР России от 17.12.2007. № 333. – 40 с.

Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утв. приказом Минприроды России от 12.12.2007 № 328, зарег. в Минюсте России 23.01.2008 № 10974.

Моисеенко Т.О. Оценка качества воды и «здоровье» экосистем с позиции экологической парадигмы // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление, №3, 2017: 104-124.

РД 52.24.622-2001 Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. Утв. Росгидрометом, дата введ. 01.01.2001.

Санитарная характеристика промышленных сточных вод. // Под. ред. проф. А.Н. Сысина. – М.-Л.: Стройиздат, 1940: 96.

Хлопин Г.В. Химические и микробиологические методы санитарного исследования питьевых и сточных вод. Петроград. 1917.

Canadian Water Quality Guidelines. Ottawa. Ontario. Published by Canadian Council of Ministers of the Environment, 2004. 76 p.

Persson L. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (sixteenth edition). 2012. Technical report no 1. Department of Chemistry and Biotechnology Chalmers University of Technology SE-412. Goteborg, Sweden. 96 p.

Schudoma D. Environmental Quality Objectives for Hazardous Substances in Aquatic Environment, Berlin: UMWELT-BUNDESAMT, 2001. 186 p.

US EPA. 2000a. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs, US Environmental Protection Agency. Washington. DC. EPA-822-B00-001.

Development of regional MPCS: the need, methodology, example

Lepikhin A.P.[1], Wozniak A.A.[2], Venitsianov E.V.[3]
[1]Perm Federal Research Center, Perm
[2]Russian Research Institute for integrated water management and protection, Kamsky branch, Perm
[3]Institute of Water Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow
AAVoznyak@gmail.com

Abstract: The article identifies three goals pronounced in the headline. The first is to prove the need to develop regional maximum permissible concentrations (MPCs) in regulatory documents on the regulation of anthropogenic impacts on water bodies. The second is to propose a methodical approach to the calculation of regional MPCs, including a statement of principles, theoretical justification and calculation formulas. The third is to show the implementation of the proposed scientific and methodological approach to the calculation of regional MPCs by specific example.

Within the framework of the disclosure of the first goal, the chronological and methodological procedure for resolving the issues of limiting the economic use of water bodies in Russia is considered. The "ecological" and "user" approaches to justifying the permissible hydrochemical loads on water bodies are analyzed. The first rules for wastewater disposal developed in Russia and the rules currently in force are considered. The main shortcomings of the current system of regulation of anthropogenic impacts on water bodies are listed. Of the five listed shortcomings, this article proposes a solution for one - the lack of consideration of soil and geochemical features of the catchment area of the basin. The reasons for the incorrectness of the current federal MPCs in developing adequate standards for permissible discharges of waste water are considered.

As part of the disclosure of the second goal, an approach to the calculation of regional MPCs based on estimates of nonparametric statistical indicators is proposed. The main principle of the proposed approach is that the maximum permissible load should be such that the current monitoring system does not record statistically significant deviations of the regulated water quality parameters from their natural characteristics. The problem of estimating the "background" concentration is solved by moving from point estimates to the distribution functions of the water quality indicators under consideration, from point indicators to interval estimates. It is taken into account that the statistical distribution of water quality chemical parameters of water bodies can not always be described by a normal distribution.

In the framework of the disclosure of the third goal, the results of calculations of regional MPC for this scheme for the Ural River in the vicinity of Magnitogorsk are presented.

Keywords: quality of natural waters, water quality management system, regional MPC, background concentrations.

Эмиссия метана с поверхности водохранилищ

***Ломов В.А.*[1], Гречушникова М.Г.[1,2], Репина И.А. [3], Степаненко В.М. [1], Казанцев В.С.[3], Артамонов А.Ю.[3]**

[1]*МГУ имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия*
[2]*ИВП РАН, Москва, Россия*
[3]*ИФА им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*
lomson620@mail.ru

Аннотация: В настоящее время большое внимание научного сообщества уделяется проблеме Глобального потепления, в особенности активно идет дискуссия на тему влияния человека на этот процесс. Как известно, основная причина возникновения парникового эффекта, приводящего к росту температур на планете, это парниковые газы. Один из основных парниковых газов – метан. Хотя его содержание в атмосфере невелико, его потенциал глобального потепления в 72 раза выше, чем у CO_2, поэтому даже небольшие изменения его концентрации в атмосфере могут привести к усилению парникового эффекта. Источники поступления метана в атмосферу могут быть как природные (океан, болота, озера, леса...), так и антропогенные (свалки, рисовые поля, крупный рогатый скот...). Один из антропогенных источников метана – это водохранилища. Эмиссия CH_4 с поверхности водохранилищ мира оценивается в 5 – 10 % от общей эмиссии в атмосферу. Но это приблизительные оценки по результатам немногочисленных экспедиций, а, в основном, только на основе географического положения водоема, поэтому циклы метана в водохранилищах изучены недостаточно. Для более детального изучения масштабов пространственно-временной изменчивости эмиссии метана, связанной с образованием метана в природных водах, был выбран хорошо изученный в отношении других гидрологических процессов водоем, с наличием многолетнего ряда разносторонних наблюдений – Можайское водохранилище. В данной работе описана методика полевых измерений содержания и потоков метана в водоеме, а также проведен анализ факторов, влияющих на цикл метана. Найдены зависимости содержания метана от внутриводоемных процессов и синоптической ситуации.

Ключевые слова: метан, потоки метана, метаногенез, водохранилище, водная экосистема, эмиссия, парниковый эффект.

Введение

Метан – самый распространенный органический газ на земле. Большие объемы его рассеяны в осадочных и изверженных породах, где он может образовывать залежи, объемом до нескольких триллионов м^3. Именно этот газ, в основном, добывается из недр планеты в качестве топлива. Метан очень инертен, что и позволяет ему образовывать такие большие скопления. Объясняется это тем, что это самый восстановленный и устойчивый газ органического происхождения. Объемы, которые залегают глубоко под землей в пластах горных пород, не оказывают влияние на климат, поэтому они не будут рассматриваться в данной теме. Гораздо больше оказывает воздействие на парниковый эффект тот метан, который образуется в результате антропогенной деятельности и природных процессов, происходящих в почвах и отложениях водоемов. Из антропогенных источников метана самые значительные – это рисовые поля, свалки бытовых и органических отходов и крупный рогатый скот (Федоров Ю.А. и др., 2005). В природе метан очень интенсивно образуется в илах водоемов в результате сложных процессов бактериального разложения органического вещества. Поэтому важный антропогенный источник поступления метана в атмосферу – это водохранилища. Во-первых, каждый год создаются все новые и новые искусственные водные объекты различного назначения. Во-

вторых, после затопления речной долины активизируются процессы разложения и гниения, что способствует увеличению эмиссии метана в атмосферу.

В мире уже существуют оценки глобальной эмиссии метана с поверхности водохранилищ. Так, например, в комплексной работе по оценкам значений эмиссии CH_4 (Varis O. и др., 2012) расчеты проведены методом географической аналогии и районирования. Собраны сведения из литературных источников и баз данных, посвященных водохранилищам, по 76 водным объектам. Суммарная учтенная площадь составляет 205000 км^2. Районирование проведено с учетом гидроклиматических условий на 4 основных зоны: бореальную (зону северных хвойных лесов), умеренную, субтропическую и тропическую. Для каждой зоны было рассчитано среднее значение эмиссии. По результатам данной оценки поток метана с поверхности водохранилищ составил 4,8 Тг/год. Однако, согласно оценкам других авторов, эмиссия метана с водохранилищ составляет от 2 Тг/год (Lima L. и др., 2008) до 122 Тг/год (Giles J., 2006). Такой разброс значений связан с тем, что для более точного определения необходимо разделить водохранилища не только по природным зонам, а также по проточности, трофности и т.д. Кроме того, необходимы полевые измерения для определения характерных значений для различных групп водоемов, а при отсутствии полевых данных необходимо применять методы математического моделирования.

Потоки метана в атмосферу и методика их измерения

Рассмотрим детальнее процесс поступления метана в атмосферу (Рис.1). Образуется газ в толще донных отложений при процессах анаэробного разложения органического вещества. Продуцируют его такие организмы, как метаногены – бактерии, живущие в бескислородной среде и разлагающие органическое вещество посредством сложных биохимических реакций. Метан – это один из продуктов этой системы. Поэтому обязательное условие активного образования метана в водоеме – это дефицит кислорода в придонных слоях. Метан после образования поднимается вверх путем диффузионного потока, который зависит от разности концентраций в соседних слоях. При перенасыщении в воде образовываются пузырьки метана, которые рассматриваются как отдельный поток, так как молекулы газа в них недоступны для аэробного окисления. Однако, в следствие именно аэробного окисления метанотрофы – бактерии, окисляющие метан до CO_2 в присутствие кислорода, не позволяют всему объему газа, исходящего из дна достичь поверхности. Особенно это влияет на диффузионный поток. Тем не менее, пузырьки метана при попадании в слой с низкими его концентрациями также могут окислятся. Поэтому пузырьковый поток интенсивнее всего в прибрежной части водоемов.

Кроме этих двух основных потоков, стоит также учитывать поток метана в результате гниения крупной водной растительности и дегазацию при сбросах воды в нижний бьеф (особенно если они осуществляются с придонных горизонтов).

Методы расчета диффузионного потока метана основаны именно на различии концентраций его в воде и в воздухе. Метод «TBL (thin boundary layer)» с учетом разности этих концентраций определяет поток метана в атмосферу (World Bank Report, 2010):

$$F_{CH4} = k(C_{вода} - C_{возд}),$$

$$k = k_{600}*(Sc/600)^{-x}$$

В этих уравнениях $C_{вода}$ – концентрация метана в воде, $C_{возд}$ – концентрация в воздухе. K_{600} и x – коэффициенты, зависящие от скорости ветра, Sc - число Шмидта. Важная особенность диффузионного потока метана – это то, что он может быть направлен как в сторону атмосферы, так и наоборот – растворяться в воде, что следует из формулы.

Метод «плавучих камер» (World Bank Report, 2010) используется для определения общего потока метана (и диффузионного и пузырькового). На водную поверхность устанавливается камера, которая не имеет обмена с атмосферой. Через шлаг из нее

отбираются пробы воздуха через определенные промежутки времени. По разнице концентраций в начале и в конце эксперимента рассчитывается общий поток, а так как известна площадь водной поверхности, закрытая камерой, возможен пересчет общего потока на м^2 водного зеркала. Стоит отметить, что для лучшей точности постановка камер должна быть осуществлена на разных участках водоема: над затоплены руслом, над поймой и над склонами затопленной долины, а также и вдоль по продольному профилю: в верхнем, среднем и приплотинном участках водоема. По разнице общего и диффузионного потока возможно оценить и пузырьковый поток метана.

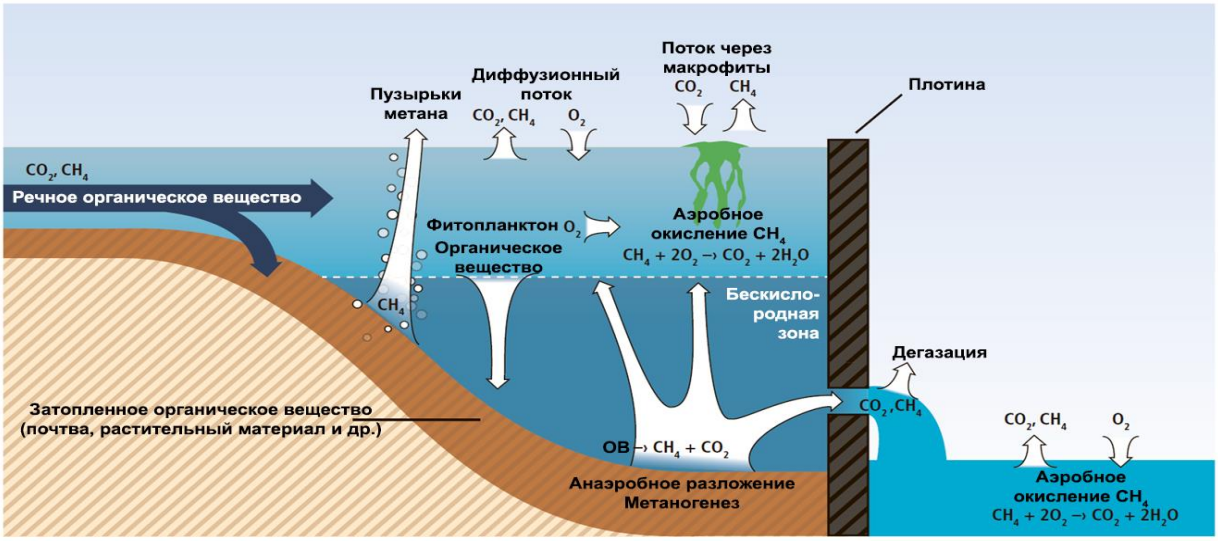


Рис. 1. Схема распределения потоков метана в водохранилище.

Исследования годового цикла потоков метана в Можайском водохранилище

Исследования процессов метаногенеза и эмиссии метана проводятся на Можайском водохранилище уже в течение трех лет. В наблюдения входят гидролого-гидрохимические съемки, проводимые по длине всего водохранилища на опорных точках, и рейдовые наблюдения на постоянной вертикали. В виды работ, осуществляемых на водоеме, входят – отборы проб с различных горизонтов для определения концентрации метана в воде, а также постановка описанных выше плавучих камер, для определения интегрального потока. Цель проводимых работ – определение пространственно-временных закономерности изменения распределения метана в течение года, а также оценить различия в эмиссии метана в зависимости от сезона и синоптических условий. Кроме того, очень важно провести анализ факторов, влияющих на процессы образования метана и выхода его в атмосферу, а также собрать данные для верификации математической модели.

Годовой цикл метана в водохранилище имеет хорошо выраженную сезонность. В начале лета, когда завершается стадия весеннего перемешивания, его концентрации в водоеме очень низкие (76 мкл/л в приплотинном плесе у дна, 8.06.2017), так как из-за конвекции вся толща воды насыщена кислородом, а при таких условиях метан быстро окисляется. Дальнейшее изменение его концентрации в придонном слое будет напрямую зависеть от складывающейся синоптической ситуации. Если погода наблюдается преимущественно ясная и жаркая – в водоеме начнет образовываться стратификация с характерным для этого времени температурным скачком. При таких условиях, в придонных горизонтах запасы кислорода начнут истощаться, так как не будет поступления его из поверхностных слоев, где происходит фотосинтез, а также инвазия и эвазия. Тогда в гиполимнионе при преобладании процессов деструкции и окисления

формируются бескислородные условия и активизируются процессы метаногенеза, которым будет способствовать еще и оседание детрита и органики, поступающей с водосбора и автохтонного детрита (2510 мкл/л в приплотинном плесе у дна, 20.08.2017). Однако, несмотря на высокие концентрации метана в придонных горизонтах, поток его в атмосферу может оставаться незначительным. Связано это с тем, что метан, поднимаясь со дна, в толще воды выше оксиклина и у поверхности будет окисляться метанотрофами. Вследствие чего самые интенсивные потоки метана в атмосферу будут наблюдаться при резкой смене погоды. Например, при прохождении холодного фронта, сопровождаемого сильными ветрами, вызывающими активное перемешивание водной толщи и разрушение слоя температурного скачка. Однако, измерение потоков в таких условиях невозможно, так как работа на водоеме при сильном волнении небезопасна и затруднительна.

С началом стадии осеннего перемешивания, потоки метана также могут увеличиваться, особенно если до этого был жаркий и безветренный август. Механизм выхода метана в атмосферу схож с процессами, возникающими при прохождении фронта, однако здесь ключевую роль играет охлаждение водоема. Если к концу лета в гиполимнионе были бескислородные условия – то придонный метан в процессе конвекции будет выходить к поверхности (12,59 мгС/м^2 в час в центральной части водохранилища, 19.08.2017).

В течение осени до образования ледостава содержание метана в водохранилище невелико, из-за активной конвекции (3,07 мгС/м^2 в час в центральной части водохранилища, 9.09.2017). Зимой же, условия для образования метана будут зависеть от интенсивности истощения запасов кислорода в водной толще. Так как из-за ледостава газообмена с атмосферой не происходит, метан может накапливаться в подледных горизонтах в достаточно больших объемах. И та его часть, которая не будет окислена, попадет в атмосферу весной в момент вскрытия водоема. Интенсивность потоков будет зависеть от скорости разрушения ледяного покрова и от объема накопившегося газа. В этот момент полевые работы, как и в случае штормов, сильно затруднены и инструментально измерить потоки метана в это время крайне сложно.

Выводы

Таким образом, содержание метана в водоеме и его эмиссия имеет хорошо выраженный годовой цикл. Максимумы интенсивности потоков метана в атмосферу приходятся на летний период, особенно на моменты резкой смены погоды, например, прохождение холодного атмосферного фронта, а также на раннюю весну, когда происходит вскрытие ледяного покрова на водоеме. Стоит отметить тот факт, что в эти периоды инструментально измерить концентрации и потоки метана затруднительно, так как работа на водоеме осложнена погодными условиями. Вследствие чего необходимо применять другие методы, такие как численное моделирование или установка автоматических самописцев. Для численного моделирования необходимо выявить зависимости потоков метана от физических и химических характеристик, например, от содержания растворенного кислорода, температуры воды, скорости ветра и т.д. Кроме того, содержание метана неоднородно и по длине водохранилища. Так как верхний и приплотинный участки имеют разную глубину и разное строение, в них по-разному происходят процессы перемешивания или сгонно-нагонных явлений. Поэтому для точных оценок эмиссии метана с поверхности водохранилищ, необходимо учитывать пространственно-временные изменения содержания и потоков метана, что требует подробных экспедиционных наблюдений на разнотипных водоемах.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РГО_а 17-05-41095.

Список литературы

Ю.А. Федоров, Н.С.Тамбиева, Д.Н.Гарькуша, В.О.Хорошевская, Метан в водных экосистемах, 2005, Ростовский Государственный Университет.

Varis O., Kummu M., Härkönen S., Huttunen J.T., Greenhouse Gas Emissions from Reservoirs. In: Tortajada C., Altinbilek D., Biswas A. (eds) Impacts of Large Dams: A Global Assessment, 2012, Water Resources Development and Management, Springer, Berlin, Heidelberg.

Lima I, Ramos F, Bambace L, Rosa R, Methane emissions from large dams as renewable energy resources: a developing nation perspective, 2008, Mitigation Adaptation Strategy Global Change 13:1381–1386.

Giles J., Methane quashes green credentials of hydropower, 2006, Nature 444:524–525.

Greenhouse gas emissions related to freshwater reservoirs, International Hydropower Association, 2010, The World Bank.

Methane emission from reservoirs surface

***Lomov V.A.*[1], Grechushnikova M.G.[1,2], Repina I.A. [3], Stepanenko V.M. [1], Kazantsev V.S.[3], Artamonov A.U.[3]**

[1]*Moscow State University, Moscow, Russia*

[2]*«Institute of water problems», Moscow, Russia*

[3]*A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia*

lomson620@mail.ru

Abstract: There is a big discussion about Global Warming nowadays. An important question is human impact on this process. The main cause of the greenhouse effect, which leads to an increase of temperature on the planet, are greenhouse gases. One of the most important greenhouse gas is methane. Although its content in the atmosphere is small, but its global warming potential is 72 times higher than that of CO_2, so even small changes in its concentration in the atmosphere can lead to the intensification of the greenhouse effect. Sources of methane in the atmosphere can be natural (ocean, wetlands, lakes, forests…) and anthropogenic (waste landfills, rise fields, cattle…). One of such anthropogenic sources are reservoirs. Methane emission from reservoirs surface is estimated at 5 – 10 % of summary emission into the atmosphere. But its only a rough estimation by the results some expeditions, and in general it is based only on geographic placement of the water object. That is why cycles of methane in reservoirs are insufficiently studied. For a more detailed study of the spatial-temporal variability of methane emissions it is necessary to connect it with the production of methane in natural waters. A well-studied for other hydrological processes reservoir was selected, with the presence of a long-term series of diverse observations-the Mozhaisk reservoir. In this article authors showed a methodology of field measurement of concentration and methane fluxes in reservoir, and factors that affect on methane cycle. Field works shows the dependences of the methane content on the in-water processes and the synoptic situation.

Keywords: methane, methane flux, production of methane, reservoir, water ecosystem, emission, greenhouse gas effect

Моделирование показателей качества воды рек Крымского полуострова с применением методов машинного обучения

***Малыгин Е.В.*[1], Лычагин М.Ю.[1], Малыгин И.В.[2]**
[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*
[2]*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии Наук, Москва*
malygin.ev@gmail.com

Аннотация: В работе предложена методика оценки влияния природных и техногенных факторов на формирование качества речных вод, описан подход к моделированию показателей качества воды с применением методов машинного обучения на примере рек Крымского полуострова. Показано, что на формирование состава речных вод как в межень, так и в паводковый период наибольшее влияние оказывают природные факторы (близость к морю, горные породы и почвы), из группы антропогенных факторов главное значение имеют виноградники и урбанизированные территории. Применение методов машинного обучения позволило смоделировать внутригодовой ход концентраций некоторых тяжелых металлов (Cu, Co, Ni, Mo, Ba) и рассчитать среднемесячный сток изучаемых элементов.

Ключевые слова: моделирование качества воды, машинное обучение, тяжелые металлы, Крым

Введение

Формирование качества речных вод напрямую зависит от процессов, происходящих на водосборной площади, которые определяются физико-географическими, геологическими, биологическими и техногенными характеристиками водосборов (Никаноров, 2001), при этом вклад каждого из факторов обычно не определяется.

В связи с интенсивным использованием рек и их водосборных бассейнов в различных отраслях хозяйственной деятельности встает актуальная задача оценки антропогенного воздействия на их экологическое состояние. Цель настоящего исследования – оценка влияния природных и техногенных факторов на формирование качества вод рек Крымского полуострова и моделирование потоков загрязняющих веществ.

Материалы и методы

В работе использованы результаты гидролого-геохимических исследований на реках Салгир, Альма, Кача, Бельбек, проведенных географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова в рамках Комплексной Крымской экспедиции Русского географического общества и проекта РФФИ № 16-05-01037 в разные сезоны 2015 – 2016 гг.

Исследования проводились в различные фазы водного режима, в работе использованы данные для трех сезонов: начало зимнего паводкового периода (февраль 2015 г.), летний паводок (июнь 2015 г.), летняя межень (август 2016 г.). Исследования включали измерение расходов и физико-химических параметров воды, отбор проб воды (всего 93). Ионный состав определялся методом ионной хроматографии. Минерализация воды вычислена по сумме главных ионов. Валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) определялось масс-спектральным (ICP-MS) и атомно-эмиссионным (ICP-AES) методами с индуктивно-связанной плазмой.

Для решения задачи моделирования качества воды требуется сформировать базу данных по выбранной проблеме. Для этого необходимо определить основные факторы, влияющие на формирование химического состава речных вод на водосборе. Среди них можно выделить геологический, почвенно-растительный, антропогенный. Характеристики

водосборов определены при помощи базы геоданных, составленной на основе картографических и экспедиционных материалов, данных дистанционного зондирования. База данных включает информацию о горных породах, почвах, растительности, численности и плотности населения, урбанизированности территории и сельскохозяйственном использовании земель.

Методы машинного обучения

Машинным обучением называется систематическое обучение алгоритмов, в результате которого их "знания" или качество работы возрастают по мере накопления опыта (Флах, 2015) . Для построения таких методов используются средства математической статистики и теории вероятностей, численные методы, методы оптимизации.

Для оценки влияния природных и техногенных факторов на формирование химического состава рек применен алгоритм машинного обучения, реализованный с применением комбинаторно-логического подхода теории распознавания образов (Малыгин, 2014). Это один из группы методов искусственного интеллекта, у которого имеется полное теоретическое обоснование (Кудрявцев и Андреев, 2006) и практическое применение в смежных дисциплинах (Малыгин, 2015).

Исходными данными для используемого алгоритма распознавания образов является таблица вида "объект - признак". В качестве объектов использованы створы экспедиционных измерений, признаки – природные и техногенные характеристики водосборов. Целевая функция для алгоритма распознавания задается в виде классов. На основе данных о минерализации и ионного состава речные воды были классифицированы на 2 типа: фоновые и преобразованные воды.

Алгоритм обучается на исходных данных. В результате обучения вырабатываются правила, по которым новые поступающие на вход системы данные относятся к одному из выделенных классов. Автоматизированный подбор параметров алгоритма проводится с применением процедуры полной кросс-валидации: на каждом этапе работы из обучающей выборки поочередно удаляется один элемент, формируется новая обучающая выборка, удаленный элемент подается для распознавания. Процедура повторяется для всех доступных наблюдений, в конце всех итераций вычисляется оценка достоверности полученного результата как доля верно классифицированных элементов. Найденные параметры представляют собой набор векторов, по которым производится классификация, в рамках используемой системы они называются "экспертами".

Данный алгоритм позволяет ранжировать признаки по их важности для результатов исходной классификации. Эта функциональность основана на понятии информационного веса признаков (Алешин, 1996). В процессе работы алгоритма вычисляется вектор информационных весов, *i*-ая компонента которого называется информационным весом *i*-ого признака. В процессе обучения выявляются признаки, которые различают все элементы, относящиеся к разным классам. Информационный вес отражает количественную оценку частоты использования признака в процессе распознавания: чем больше частота, тем признак более информативен в рамках принятия решения о классификации.

Оценку важности признаков недостаточно проводить по одному "эксперту", для достижения репрезентативного результата необходимо использовать группу "экспертов". Тогда важность *i*-того признака FI_i будет определяться как

$$FI_i = \frac{|E_{Iv}|}{|E|} \cdot 100\%, FI_i = \frac{|E_{Iv}|}{|E|} \cdot 100\%,$$

где $|E_{Iv}|$ – количество "экспертов" с ненулевой оценкой информационного веса *i*-ого признака, $|E|$ – общее количество "экспертов", обеспечивающих необходимую точность классификации.

Для моделирования внутригодового хода концентраций тяжелых металлов использована модель случайного леса (Random Forest). Случайный лес – алгоритм машинного обучения, заключающийся в использовании композиции (ансамбля) решающих деревьев (Breiman, 2001).

Рассмотрим принцип работы одного решающего дерева. Свое название данный алгоритм получил за счет древовидной структуры базовых моделей. Решающее дерево выстраивает иерархию правил “если… то”, приводящую к решению. Структура дерева представляет собой “листья” и “ветви”. На ребрах (“ветвях“) дерева решения записаны правила, от которых зависит целевая функция, в “листьях” записаны значения целевой функции (ответы). Чтобы получить решение на новых данных, необходимо спуститься по дереву от корня до листа.

Основная идея алгоритма Random Forest заключается в использовании ансамбля решающих деревьев, каждое из которых само по себе даёт не очень высокое качество модели, однако хороший результат достигается путем осреднения ответов большого числа независимых решающих деревьев.

Модель реализована на языке программирования Python 3 с использованием библиотеки машинного обучения scikit-learn. Алгоритм Random Forest используется для решения задачи регрессии. Исходные данные для построения модели: антропогенные характеристики водосборов (плотность населения и доли от водосборной площади урбанизированных территорий, сельскохозяйственных земель, виноградников), среднесуточные расходы воды, среднесуточная температура воздуха, средняя высота водосбора, номер бассейна реки (категориальный признак). Целевая функция – концентрации (мкг/л) тяжелых металлов в речных водах. Оценка качества модели проведена с использованием полной (leave-one-out) кросс-валидации по метрике средней абсолютной ошибки.

Результаты исследования

Для оценки влияния природных и техногенных факторов на формирование химического состава рек проведено обучение алгоритма распознавания и рассчитаны векторы информационных весов. Обучение проведено по критерию “количество верно классифицированных элементов обучающей выборки не менее 75%”. На рис. 1 представлены результаты ранжирования признаков по их влиянию на процесс формирования химического состава речных вод.

Наиболее значимый фактор формирования химического состава речных вод рек Крымского полуострова – горные коричневые почвы. Однако, вероятнее всего, на процесс формирования состава вод влияют не сами свойства данных почв, а их географическое положение. Горные коричневые почвы располагаются в приустьевых районах, где атмосферные осадки обогащаются морскими солями над акваторией моря. Минерализацию речных вод в прибрежных районах могут повышать и грунтовые воды, дренирующие засоленные морские отложения. Лесная растительность (точнее, залесенность территории) – наименее значимый фактор формирования химического состава речных вод для всех сезонов, она не оказывает влияние на преобразование речных вод, так как в основном на территории изучаемых речных бассейнов она приурочена к верховьям рек, где формируются фоновые воды. На формирование состава речных вод в начало зимнего паводкового периода наибольшее влияние оказывают геологический и почвенный факторы, что обусловлено преобладанием грунтовых вод в питании рек. Из группы антропогенных факторов значительное влияние оказывают виноградники, урбанизированные территории и сельскохозяйственные земли. В период летнего паводка 2015 г. среди антропогенных факторов наибольшее влияние на формирование состава вод оказали городские и сельские поселения, что обусловлено смывом пыли и различных

загрязняющих веществ с урбанизированных территорий во время дождевого паводка. В летнюю межень наибольшее влияние оказывают природные факторы, однако на них накладываются антропогенные. Среди почвенного фактора наиболее значимый – лугово-черноземные почвы. Они приурочены к речным долинам, их влияние обусловлено протеканием рек в пределах естественного русла. Существенное влияние оказывают виноградники и урбанизированные территории. В период низкого стояния уровня рек и небольших расходов воды поступление даже небольшого количества загрязненных вод с урбанизированных территорий и виноградников может оказывать сильное воздействие на речные воды за счет малой кратности разбавления.

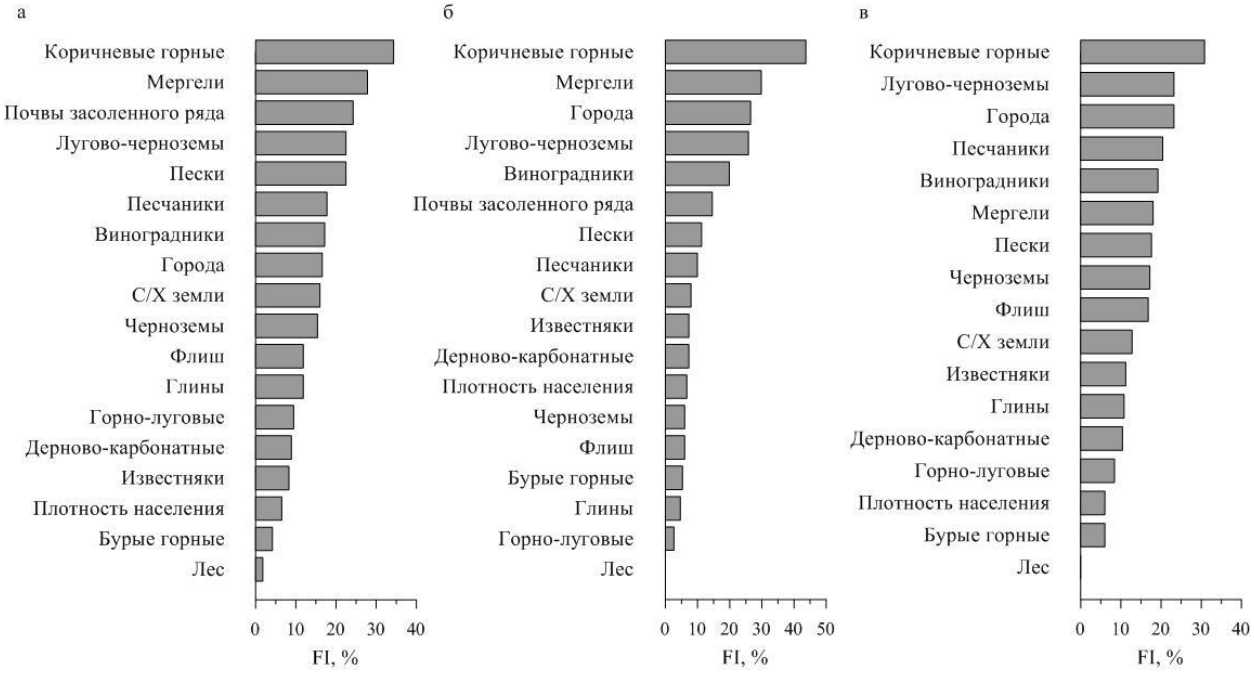


Рис. 1. Вклад природных и техногенных факторов в формирование химического состава речных вод Крымского полуострова: а – зимний паводковый период, б – летний паводок, в – летняя межень.

Применение методов машинного обучения позволило смоделировать внутригодовой ход концентраций Cu, Co, Ni, Mo, Ba. На основе данной модели рассчитан среднемесячный сток растворенных форм этих элементов. В табл.1 приведен пример результатов моделирования стока меди, никеля и кобальта для гидрологического поста р. Альма – Суворово.

Анализ внутригодового распределения показывает, что в 2015 г. около 90% стока данных металлов прошло в многоводный период: 50% в зимне-весенний паводковый период (январь – май) и 40% во время ливневого летнего паводка. Используемый подход также позволяет исследовать влияние признаков на итоговый результат моделирования. Главные факторы, влияющие на содержание меди в речной воде – сток и количество виноградников на водосборе, которые являются основным антропогенным фактором поступления Cu на изучаемой территории. Для борьбы с вредными насекомыми и оидиумом (грибком винограда) плантации обрабатывают медным купоросом и медьсодержащими препаратами. Увеличение склонового стока в многоводный период приводит к увеличению поступления меди с водосборного бассейна.

На содержание никеля наибольшее влияние оказывают урбанизированные территории и температура воздуха. Загрязнение никелем происходит при сжигании твердого и жидкого топлива, с выхлопными газами автотранспорта, а также за счет износа автомобильных шин и деталей автомобилей. Отмечается повышение концентраций

никеля в период летней межени, что может быть связано со стоками населенных пунктов и малой кратностью их разбавления в период низкой водности.

Табл. 1. Среднемесячный сток растворенных форм тяжелых металлов для р. Альма – Суворово, кг/мес

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Co	0.62	1.37	1.26	2.07	1.86	4.17	1.42	0.14	0.14	0.12	0.31	0.31
Ni	3.26	6.81	6.38	10.54	10.15	22.34	8.92	1.21	0.90	0.67	1.64	1.64
Cu	3.93	9.86	8.46	14.99	16.48	39.61	10.95	0.77	0.89	0.81	2.02	2.06

Основные факторы, влияющие на содержание кобальта, – сельскохозяйственные земли и орографическое положение водосбора. На повышение урожайности сельскохозяйственных культур влияет внесение в почву различных минеральных удобрений, в том числе и кобальтсодержащих. Кобальт положительно влияет на течение многих физиологических процессов, происходящих в растениях, повышает активность ферментов, увеличивает засухоустойчивость растений. К наиболее слабо освоенным в хозяйственном отношении территориям Крымского полуострова относятся горные районы, таким образом, орографическое положение водосбора может служить индикатором антропогенной нагрузки.

Выводы

Предложенный подход является эффективным инструментом для научных исследований и позволяет количественно оценить влияние природных и техногенных факторов на качество воды. Показано, что на формирование состава речных вод как в межень, так и в паводковый период наибольшее влияние оказывают природные факторы (близость к морю, горные породы и почвы), из группы антропогенных факторов главное значение имеют виноградники и урбанизированные территории. На примере тяжелых металлов предложена методика расчета внутригодового стока загрязняющих веществ по данным единичных наблюдений, основанная на методах машинного обучения. Показано, что основное количество изучаемых тяжелых металлов проходит в многоводный период, на формирование стока данных элементов влияют различные факторы.

Предложенный подход в совокупности с географическим анализом может применяться для комплексных геоэкологических исследований. Количественное моделирование выноса загрязняющих веществ может быть использовано для построения сценарных прогнозов, а полное понимание всех характеристик, влияющих на процесс формирования химического состава воды, позволяет разрабатывать рекомендации для более грамотного управления водными ресурсами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-01037.

Список литературы

Алешин С.В. Распознавание динамических образов. Ч. 1. М.: Издательство МГУ, 1996г. 98 с.

Кудрявцев В.Б., Андреев А.Е. Теория тестового распознавания // Интеллектуальные системы, 2006, Т.10: 95–140.

Малыгин И.В. Логический подход к созданию экспертных систем прогнозирования опасных природных явлений // Естественные и технические науки, 2015, №2: 102-112.

Малыгин И.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014614960 Экспертная система прогнозирования ледового заторообразования. Заявка №2014612636, дата поступления 24.03.2014. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 14.05.2014.

Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. – 444 с.

Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. Пер. с англ. А. А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2015. – 400 с.

Breiman L. Random Forests. Machine Learning , 2001, vol. 45, no.1, pp. 5–32

Machine learning approach for river water quality modeling: the Crimean peninsula case study

***Malygin E.V.*[1], *Lychagin M.Yu.*[1], *Malygin I.V.*[2]**

[1]*Lomonosov Moscow State University*

[2]*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences*

malygin.ev@gmail.com

Abstract: This paper studies the impact of natural and technogenic factors on the chemical composition of river waters of the Crimean peninsula using machine learning approach for river water quality modeling. It is shown that natural factors (proximity to the sea, bedrock types and soils) have the greatest influence on the chemical composition of river waters both in the low water period and during the flood. The most important of all the technogenic factors are the shares of the catchment area attributable to agricultural land and to urban areas. Using machine learning techniques allowed to simulate annual variability of several trace metal concentrations (Cu, Co, Ni, Mo, Ba) and to calculate the average monthly ion runoff of the studied elements.

Keywords: water quality modeling, machine learning, trace metal, Crimean peninsula

Разработка методики определения экологически достаточного речного стока на примере азота нитратного

Мосейкова А.М.*, *Шелутко В.А.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
anka-mvm@yandex.ru

Аннотация: Великая — река в Псковской области России, относится к бассейну реки Нарва (через Псковско-Чудское озеро) и в целом к бассейну Балтийского моря. Учитывая особую важность процессов эвтрофирования, в данной работе рассматриваются концентрации азота нитратного по р. Великой.

Ключевые слова: река Великая, минимальный экологический сток, азот нитратный, речной сток, город Остров.

Введение

Цель работы – оценить минимальный экологический сток реки Великой в городе Остров на примере азота нитратного.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Исследовать числовые характеристики концентраций нитратного азота и значений расходов воды за год и за 3 характерных периода;
- Исследовать изменение концентраций по азоту нитратному в пределах г. Остров;
- Определить минимальный экологический сток по нитратному азоту.

Для исследования были использованы данные наблюдений за концентрациями нитратного азота и расходами воды на р. Великая г. Остров за период с 1978 г. по 2001 г. Данные предоставлены северо-западным межрегиональным территориальным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС).

Описание исходных данных:

- Расстояние между створами 8 км;
- Площадь водосбора реки Великой в городе Остров 13400 км^2;
- Расстояние от устья: верхний створ – 103 км, нижний – 95 км:
- Верхний створ расположен выше города Остров, нижний створ – ниже города.

Материалы и методы

Представлены числовые характеристики временных рядов наблюдений годовых и сезонных значений концентраций азота нитратного верхнего и нижнего створов реки Великой.

Концентрация азота нитратного измеряется в мг/л. Отличие первой и второй строк таблицы в верхнем и нижнем створах состоит в том, что в первой строке указаны измеренные значения концентраций, а во втором среднегодовые.

Наиболее низкие значения математического ожидания временных рядов годовых и сезонных значений концентраций азота нитратного верхнего и нижнего створов реки Великой наблюдались в период июль-октябрь.

Числовые характеристики временных рядов наблюдений средних годовых и сезонных значений концентраций в верхнем и нижнем створе реки Великой изменяются в небольших пределах.

На рисунке 1 представлен график изменения измеренных значений в течении времени. Во всех случаях ПДК по азоту нитратному не превышен. В 2003 году заметно превышение концентраций в обоих створах. В некоторых пределах значения концентраций в верхнем створе превышают значения концентраций в нижнем, это вряд ли

возможно, что говорит о качестве измерений. Также с 1986 и 2003 годов наблюдается тенденция на снижение концентраций.

Чтобы определить обеспеченность ПДК по азоту нитратному, были построены на клетчатке вероятности для всех рядов наблюдений эмпирические и теоретические кривые обеспеченности Пирсона III типа для Cs=2Cv. (Шелутко В. А., 1991, Дружинии В.С. и Сикан А.В., 2001).

Минимальный экологический сток по химическим соединениям - значение стока, достаточное для разбавления концентраций рассматриваемых веществ до уровня ПДК. (Фащевский Б. В., 1996)

Для определения минимального экологического стока, была построена кривая обеспеченности объемов стока азота нитратного г/сек:

$$W = Q * C \quad (1.1)$$

По кривой определялось минимальное количество расхода воды для обеспечения речного стока с концентрацией не больше, чем ПДК:

$$Q = W/\text{ПДК} \quad (1.2)$$

Для определения минимального экологического стока, была построена кривая обеспеченности объемов стока. По кривой определялось минимальное количество расхода воды для обеспечения речного стока с концентрацией не больше, чем ПДК. (Фащевский Б. В., 1996)

Табл. 1. Числовые характеристики исходных данных концентраций нитратного азота

	Название ряда	Оценка числовых характеристик			
		m_x	σ_x	C_v	C_s
Верхний створ	р. Великая - г. Остров	0,39	0,38	0,90	1,13
	Ср. знач. р. Великая - г. Остров	0,37	0,16	0,42	0,24
	р. Великая - г. Остров (ноябрь-март)	0,52	0,24	0,46	-0,09
	р. Великая - г. Остров (апрель-июнь)	0,55	0,44	0,80	0,77
	р. Великая - г. Остров (июль-октябрь)	0,19	0,26	1,36	3,67
Нижний створ	р. Великая - г. Остров	0,42	0,41	0,97	2,05
	Ср. знач. р. Великая - г. Остров	0,42	0,20	0,47	0,67
	р. Великая - г. Остров (ноябрь-март)	0,55	0,30	0,54	0,40
	р. Великая - г. Остров (апрель-июнь)	0,66	0,57	0,86	1,60
	р. Великая - г. Остров (июль-октябрь)	0,22	0,36	1,62	5,37

Результаты

Минимальный экологический сток в нашей работе равен:

- Измеренные значения для верхнего створа 6,8 м^3/с при обеспеченности 91%, а для нижнего створа 7,7 м^3/с при обеспеченности 91%.
- Среднегодовые значения для верхнего створа 74,3 м^3/с при обеспеченности 91%, а для нижнего створа 81,5 м^3/с при обеспеченности 91%.
- За период ноябрь-март для верхнего створа 58,5 м^3/с при обеспеченности 90%, а для нижнего створа 44,8 м^3/с при обеспеченности 90%.
- За период апрель-июнь для верхнего створа 32 м^3/с при обеспеченности 91%, а для нижнего створа 35 м^3/с при обеспеченности 91%.
- За период июль-октябрь для верхнего створа 2,5 м^3/с при обеспеченности 90%, а для нижнего створа 3,2 м^3/с при обеспеченности 90%.

Выводы

- Для реки Великой в городе Остров вероятность превышения ПДК азота нитратного по годовым и сезонным значениям менее 0,01;
- С 1986 и 2003 годов наблюдается тенденция на снижение концентраций;
- В 2003 году заметно превышение концентраций в обоих створах. В некоторых пределах значения концентраций в верхнем створе превышают значения концентраций в нижнем, это вряд ли возможно, что говорит о качестве измерений;
- Речной сток в пределах г. Остров практически всегда превышает минимальный экологический сток.

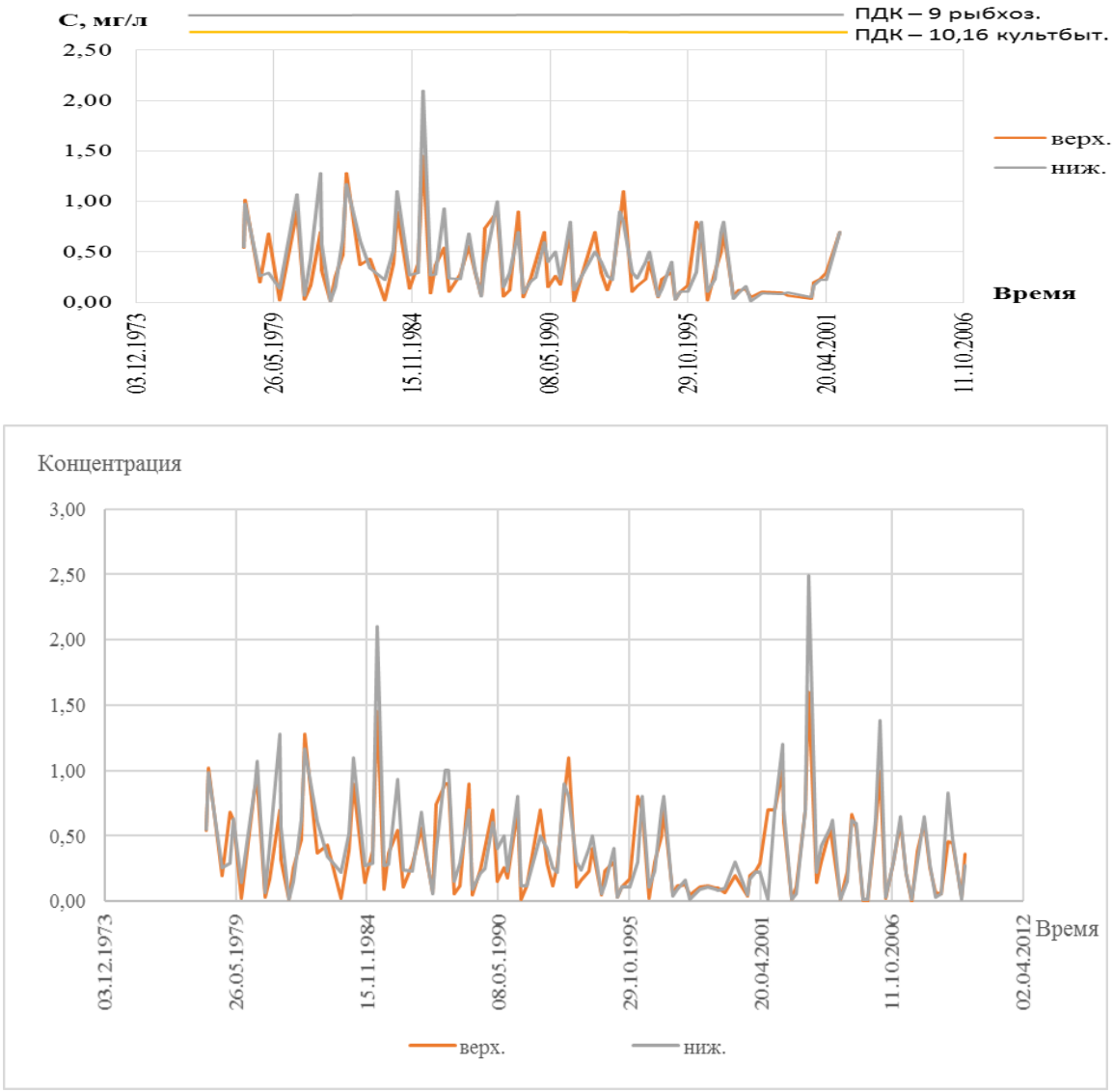


Рис. 1. Изменение значений во времени (р. Великая - г. Остров (N-NO3-))

Список литературы

Шелутко В. А. Численные методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991, 238 с.

Фащевский Б. В. Основы экологической гидрологии. – Минск: «Экоинвест», 1996, 240 с., ил. – (Учебное пособие для высших и средних учебных заведений)

Дружинин В. С., Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: РГГМУ, 2001, 168 с.

The development of methods of determination of ecologically sufficient river flow for the example of nitrate nitrogen

Moseykova A.M., Shelutko V.A.
Russian State Hydrometeorological University
anka-mvm@yandex.ru

Abstract: The river Velikaya is river in the Pskov region of Russia , belongs to the basin of the Narva river (via the Pskovo-Chudskoe lake) and to the whole Baltic sea basin. Given the importance of the processes of eutrophication, in this paper, the concentration of nitrate nitrogen along the river Velikaya.

Keywords: river Velikaya, the minimum environmental flow, nitrate nitrogen, river flow, city Ostrov.

Урбанизация как один из основных факторов повышения антропогенной нагрузки на водные экосистемы Воронежской области

Нефедова Е.Г.
БУЗ ВО "Воронежская областная клиническая больница №1"
nefedovaeugenia@rambler.ru

Аннотация: В условиях развития хозяйства и усиления антропогенного давления на реки и их водосборы возникает необходимость количественной оценки нагрузки и анализа последствий воздействия на качество природных вод. Для достижения этих задач была произведена оценка антропогенной нагрузки на экосистемы больших и средних рек Воронежской области по методике Р 52.24.819-2014, предполагающей расчет доли антропогенного воздействия и модуля притока поллютантов. Согласно полученным результатам, антропогенная нагрузка на данную категорию водных объектов статистически значимо повышается ниже населенных пунктов по показателю доли антропогенного воздействия. Модуль притока загрязняющих веществ также возрастает, однако эти изменения не являются статистически значимыми. В повышении нагрузки на большие и средние реки ниже населенных пунктов большую роль играет как загрязненный поверхностный сток, так и организованное отведение недостаточно очищенных сточных вод, воздействие которых проявляется локально. Оценка нагрузки на малые реки, водосборы которых полностью расположены в пределах урбанизированной территории, производилась путем расчета избыточного модуля притока поллютантов. В формировании состояния малых водотоков доминирующую роль играет неорганизованное поступление загрязняющих веществ. При этом последствия антропогенной нагрузки проявляются по всей длине реки. Степень преобразованности водосборов таких рек настолько велика и существенна (водосбор практически полностью изменен), что даже при отсутствии организованного воздействия нагрузка на них по модулю притока поллютантов существенно превышает значения рассматриваемого показателя, рассчитанного для средних и крупных рек. Избыточный приток поллютантов, в особенности биогенных элементов, к устьевым частям малых рек негативно сказывается не только на состоянии самих водотоков, но также их водоприемников. Это вызывает необходимость устранения негативного влияния загрязненного поверхностного стока на водные объекты в пределах населенных пунктов. Для улучшения состояния больших и средних рек ключевую роль будет играть также повышение степени очистки сточных вод, отводимых промышленными предприятиями и объектами жилищно-коммунального хозяйства, которые сосредоточены в городах.

Ключевые слова: Антропогенная нагрузка, урбанизированные территории, модуль притока поллютантов, качество природных вод, организованные и неорганизованные источники загрязнения

Введение

В настоящее время на большей части европейской территории страны антропогенное преобразование водосборов достигло таких масштабов, что привело к трансформации естественных условий формирования гидрологического, в том числе гидрохимического, режима водных объектов. Урбанизация относится к процессам, которые приводят к наиболее интенсивному изменению речных водосборов и качества природных вод (Болгов, Голубаш, 2008; Masnavi et al., 2016). Воронежская область также подвержена влиянию рассматриваемых процессов. В настоящее время площадь застроенных территорий в

области составляет порядка 47 км^2 или всего 1 %. Однако вследствие того, что населенные пункты тяготеют к водным объектам, они оказывают очень мощное локальное воздействие на водотоки и водоемы. Это подтверждается результатами, полученными в ходе оценки антропогенной нагрузки на экосистемы водных объектов области.

Материалы и методы

Для количественной оценки антропогенной нагрузки на водные экосистемы были рассчитаны доля антропогенного воздействия и модуль притока растворенных компонентов по методике Р 52.24.819-2014, разработанной в Гидрохимическом институте (Оценка…, 2017). Доля антропогенного воздействия выявляет участие антропогенной составляющей в формировании компонентного состава водной среды и вычисляется как коэффициент комплексности при расчете удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (1):

$$D = \frac{N_1}{N} \cdot 100, \quad (1)$$

где D – доля антропогенного воздействия; N_1 – число ингредиентов, превышающих ПДК; N – общее число определяемых ингредиентов.

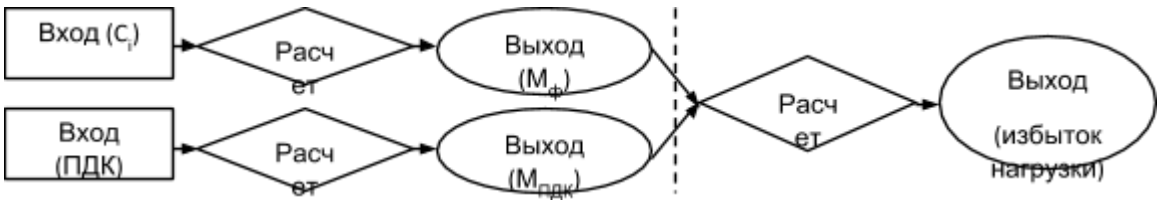
Оценка антропогенной нагрузки по значениям модуля притока химических веществ учитывает их вклад в химический состав воды (2):

$$M = \sum_{i=1}^{m} \frac{F}{W_1 \cdot \overline{C_1}}, \quad (2)$$

где M – модуль притока поллютантов; m – число интервалов расчетного периода; F – площадь водосбора, тыс. км^2; W_1 – объем стока воды за i-й интервал, км^3; C_1 – средняя концентрация вещества за i-й интервал, мг/л.

Данные показатели были рассчитаны для больших и средних рек Воронежской области (Дон, Хопер, Битюг, Тихая Сосна, Черная Калитва, Ворона), в створах выше и ниже населенных пунктов, а также для Воронежского водохранилища, две трети которого расположены в черте г. Воронеж. В основу расчета легли данные о качестве воды рассматриваемых водных объектов, полученные Воронежским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2010-2015 гг.

Особый интерес представляет также оценка нагрузки на малые водотоки, бассейны которых полностью расположены в пределах урбанизированных территорий. Оценка была произведена по данным о химическом составе воды, полученным в ходе собственных полевых обследований в 2015-2017 гг. В качестве объектов исследования выступали малые водотоки, протекающие в разных функциональных зонах г. Воронежа – реки Песчанка и Тавровка. Оценка нагрузки производилась по величине избыточного модуля притока загрязняющих веществ, который рассчитывался по следующей схеме (рис. 1).



C_i – фактическая концентрация; $M_ф$ – модуль притока, рассчитанный по фактической концентрации; $M_{пдк}$ – модуль притока, рассчитанный по ПДК

Рис. 1. Блок-схема расчета модуля избыточного притока поллютантов

Избыточные модули рассчитывались для устьев обеих рек как замыкающих створов, в которых суммируется все антропогенное воздействие на водосборы. Подобная оценка

позволяет определить, какая часть поступающих поллютантов должна быть перехвачена на пути к водотоку, чтобы нивелировать последствия нагрузки.

Результаты

Согласно результатам оценки, нагрузка на водные экосистемы рассматриваемых крупных и средних рек по величине модуля притока является малой. Вместе с тем отмечается рост показателя выше и ниже населенных пунктов почти во всех случаях для всех компонентов (табл. 1).

В то же время, согласно критерию Вилкоксона для сильно неоднородных выборок, различия между рядами наблюдений на различных участках водных объектов не являются статистически достоверными. Стоит отметить, что выборки рядов для расчета этого показателя являются малыми, что повышает статистическую погрешность расчета, и при увеличении рядов наблюдений возможно изменение выявленных закономерностей.

Табл. 1 Показатели антропогенной нагрузки на водные объекты

Водный объект, пункт	Доля антропогенной нагрузки, %	Модуль притока, т/км^2		
		Азот аммонийный	ЛООВ (по $БПК_5$)	Нефтепродукты
Дон выше г. Лиски	20 (малая)	0,01	0,19	0,0016
Дон ниже г. Лиски	27 (малая)	0,01	0,24	0,005
Битюг выше пгт Анна	20 (малая)	0,01	0,19	0,0002
Битюг ниже пгт Анна	40 (умеренная)	0,01	0,24	0,004
Битюг выше г. Бобров	33 (умеренная)	0,01	0,16	0,001
Битюг ниже г. Бобров	33 (умеренная)	0,02	0,20	0,004
Тихая Сосна выше г. Острогожск	20 (малая)	0,02	0,17	0,0012
Тихая Сосна ниже г. Острогожск	33 (умеренная)	0,02	0,22	0,0041
Черная Калитва выше г. Россошь	27 (малая)	0,01	0,07	0,0004
Черная Калитва ниже г. Россошь	27 (малая)	0,01	0,10	0,0024
Хопер выше г. Борисоглебск	20 (малая)	0,01	0,17	0,0003
Хопер ниже г. Борисоглебск	40 (умеренная)	0,03	0,40	0,009
Хопер у г. Новохоперск	27 (малая)	0,02	0,28	0,0025
Ворона у г. Борисоглебск	20 (малая)	0,02	0,22	0,0004
Воронежское водохранилище выше г. Воронеж у автодорожного моста	20 (малая)	0,01	0,17	0,003
Воронежское водохранилище в черте города, ниже сброса шинного завода	40 (умеренная)	-	-	-
Воронежское водохранилище у с. Шилово	27 (малая)	-	-	-

По доле воздействия почти две трети случаев (11 створов) характеризуются малой нагрузкой, а шесть створов – умеренной (см. табл. 1). Последняя отмечается в створах: р. Тихая Сосна ниже г. Острогожск, р. Битюг ниже пгт Анна и у г. Бобров (как выше, так и ниже населенного пункта), р. Хопер ниже г. Борисоглебск, а также Воронежское водохранилище ниже сброса шинного завода. То есть показатель доли антропогенной нагрузки повышается ниже крупных источников воздействия. Различия между значениями доли антропогенного воздействия в точках наблюдений выше и ниже населенных пунктов являются статистически достоверными, согласно критерию Стьюдента. Но в этом случае также не исключается риск повышенной погрешности расчета вследствие ограниченной продолжительности рядов данных.

Наиболее высокая нагрузка осуществляется на р. Хопер ниже г. Борисоглебск (по обоим показателям), на р. Битюг ниже пгт Анна и Воронежское водохранилище ниже сброса шинного завода (по доле воздействия). Эти участки характеризуются не только поступлением загрязненного поверхностного стока с урбанизированной территории, но также высокими объемами отведения недостаточно очищенных сточных вод (Доклад…, 2016). Последний фактор для крупных и средних рек зачастую является решающим, так как, согласно проведенной автором оценке (Нефедова, 2017), высокий показатель преобразованности водосборов, обусловливающий риск неорганизованного поступления поллютантов, отмечается только в г. Воронеж среди трех рассматриваемых муниципальных образований.

В большей степени поступление загрязненного поверхностного стока сказывается на качестве воды малых рек, бассейны которых полностью расположены в пределах городской черты. Расчет избыточного модуля притока поллютантов в малые реки Песчанка и Тавровка позволяет констатировать, что фактический модуль притока за год (усредненный по результатам, полученным за каждый год исследования) превышает допустимый модуль почти по всем рассматриваемым веществам в обеих реках. При этом организованное воздействие на рассматриваемые малые водотоки отсутствует, что свидетельствует о неорганизованном поступлении поллютантов с хозяйственно освоенных водосборов (Дмитриева, Нефедова, 2016).

Избыточный модуль притока в устьевой части р. Тавровка составляет 0,11 т/км^2 по фосфатам и 0,003 т/км^2 по железу общему, что вызывает необходимость снизить существующую нагрузку на 79 % по фосфатам (на величину избыточного модуля) и на 14 % по железу общему. Для р. Песчанка необходимо снизить антропогенную нагрузку на водосборе на 4,68 т/км^2 по фосфатам (на 89 %), на 1,44 т/км^2 по железу общему (на 79 %) и на 38,62 т/км^2 по катиону аммония (на 95 %). Следует отметить, что ни одна из более крупных рек области, охваченных государственной сетью наблюдений, не характеризуется такими высокими показателями модулей притока загрязняющих веществ как рассматриваемые малые водотоки.

Выводы

Проведенные исследования позволяют констатировать, что водные объекты урбанизированных территорий испытывают мощную антропогенную нагрузку, которая затрагивает все аспекты формирования качества поверхностных вод. При этом большие и средние реки страдают не только от неорганизованного поступления поллютантов с территории их водосборов и от организованного водоотведения, но также от притока загрязненных вод малых водотоков. Последние наиболее чутко реагируют на преобразования водосборных площадей, если они полностью расположены в пределах урбанизированных территорий. В этом случае загрязненный поверхностный сток составляет значительную величину в доле питания данных водотоков, определяя соотношение естественной и антропогенной составляющих в формировании качества воды. Собственные обследования малых рек Песчанка и Тавровка, протекающих в пределах городского округа г. Воронеж, свидетельствуют об их значительном загрязнении, которое приводит к избыточному притоку поллютантов к их устьевым частям. Это обусловлено повышенной эмиссионной нагрузкой на водосборные площади малых водотоков, высокой долей запечатанных территорий, угнетением водоохранных зон и рядом других негативных факторов, сопутствующих урбанизации. Локализация интенсивного антропогенного воздействия на относительно небольшой площади в населенных пунктах дает возможность обеспечить эффективный перехват загрязненного поверхностного стока с урбанизированных территорий с его последующей очисткой. Снижения нагрузки, обусловленной отведением загрязненных сточных вод, можно добиться, повышая эффективность их очистки путем строительства новых и реконструкции старых очистных сооружений.

Список литературы

Болгов М.В., Голубаш Т.Ю. Роль водного фактора в экологии городских территорий (на примере Ростова Великого) // *Природообустройство*, № 5, 2008: 20-24.

Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. Антропогенное загрязнение малых водотоков Воронежской городской агломерации // *Морские биологические исследования: достижения и перспективы:* сб. мат. конф. в 3-х томах, Т. 3, 2016: 73-76.

Доклад о государственном надзоре за использованием природных ресурсов и состоянием окружающей среды воронежской области в 2015 году, 2016. 137 с.

Нефедова Е.Г. Картографирование результатов оценки антропогенной нагрузки на речные водосборы в пределах муниципальных образований Воронежской области // *Геоинформационное картографирование в регионах России*: мат. IX Всерос. науч.-практ. конф., 2017: 57-59.

Оценка антропогенной нагрузки на речные экосистемы с учетом их региональных особенностей [электронный ресурс]: Р 52.24.819-2014. Введ. 2015-02-02. Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200117287 (Дата обращения: 10.05.2017).

Masnavi M.R., Tasa H., Ghobadi M., FarzadBehtash M.R., NeginTaji S. Restoration and Reclamation of the River Valleys' Landscape Structure for Urban Sustainability using FAHP Process, the Case of Northern Tehran // *International Journal of Environmental Research,* Vol. 10, Issue 1, 2016: 193-202.

Urbanization as one of the main factors of increasing of antropogenic pressure on aquatic ecosystems in Voronezh oblast

Nefedova Ye.G.
Voronezh regional clinical hospital No. 1
nefedovaeugenia@rambler.ru

Abstract: Development of economy and growth of anthropogenic pressure to rivers and their catchments arise necessity of assessment of pressure and analysis of human impact to water quality. For carrying out these tasks assessment of human impact to large and medium rivers ecosystems in Voronezh oblast were implemented by R 52.24.819-2014, which include calculation of human impact part and module of pollutants inflow. According to results of calculation, increase of human impact part in these rivers is statistically significant downstream from localities. Module of pollutants inflow also increases, but this change is not statistically significant. Point sources of pollution, which locally influence to the streams, and polluted surface runoff, play a major role in growth of impact to large and medium rivers downstream from localities. To assess human impact to small streams with catchments, located completely within urban area, excessive module of pollutants inflow was calculated. In localities human impact to small rivers appears along its entire length. Small urban streams state is forming by influence of non-point sources of pollution. Catchments of these rivers are transformed so significantly (some of them are completely transformed), that module of pollutants inflow to their mouths is higher than to large and medium rivers, although point sources of pollution of small rivers are absent. Excessive module of pollutants inflow, especially of biogenic elements, to mouths of the small rivers adversely affects to their state and state of their recipients. So necessity of elimination of adverse effect of surface runoff to water bodies within of localities is obvious. Development of water treatment facilities located in urban areas will play a key role to improvement of the large and medium rivers state.

Keywords: Anthropogenic pressure, urban areas, module of pollutants inflow, natural water quality, point and non-point sources of pollution

Изменение водных и околоводных экосистем в нижнем бьефе Зейской ГЭС в условиях регулирования стока реки Зея

***Никитина О.И.*[1,2], Базаров К.Ю.[3,4], Егидарев Е.Г.[2,3], Канзепарова А.Н.[5]**
[1]*Институт водных проблем РАН, Москва*
[2]*Всемирный фонд дикой природы (WWF России), Москва, Владивосток*
[3]*Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН, Владивосток*
[4]*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*
[5]*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, Владивосток*
onikitina@wwf.ru

Аннотация: Рассмотрено влияние плотины Зейской гидроэлектростанции на водные и околоводные экосистемы в пойме реки Зея. Для оценки изменения экосистем и последующей разработки режимов экологических попусков проанализированы изменения водного режима и объектов широкой поймы в нижнем бьефе Зейской ГЭС. Основной принцип исследования состоит в том, что именно регулирование стока оказало решающее влияние на изменение долинных экосистем. Результаты анализа водного режима показали значительное внутригодовое перераспределение стока, снижение величин и продолжительность максимальных расходов, уменьшение расходов воды в тёплый период года. По итогам дешифрирования данных спутниковой съемки за 1969/1971 и 2016 гг. проведено сравнение двух участков широкой поймы на разном удалении от плотины. Анализ выявил сокращение площадей озёр и болот, превращение небольших речных проток в цепь старичных озёр, рост лесных территорий. Приведена информация об изменении условий обитания пресноводных рыб в результате регулирования стока плотиной Зейской ГЭС. Уменьшение расходов и уровней воды в летние и осенние месяцы привело к снижению первичной продуктивности, понижению выживаемости и темпов роста рыб, что обусловило уменьшение численности фитофильных и пелагофильных видов рыб.

Ключевые слова: регулирование стока, Зейская гидроэлектростанция, экологический попуск, сохранение водных экосистем, пойма, данные дистанционного зондирования, ихтиофауна.

Введение

Плотина Зейской гидроэлектростанции (ГЭС), расположенная в Амурской области на реке Зея, крупном левом притоке дальневосточной реки Амур, введена в эксплуатацию в 1975 г. и выведена на проектную мощность к 1980 г. Это комплексный гидроузел, регулирующий сток для целей энергетики, транспорта и предотвращения наводнений в среднем и нижнем течении рек Зея и Амур. Плотина Зейской ГЭС способна сдерживать паводки редкой повторяемости, препятствуя периодическому затоплению поймы — важному гидроэкологическому показателю режима рек, индикатору качества и продуктивности пойменных земель (Фащевский, 2007).

В зоне влияния Зейской ГЭС расположены территории с высоким уровнем биологического разнообразия. Участки широкой поймы Зеи служат важным звеном в цепи остановок перелетных птиц на миграционных путях (Simonov and Dahmer, 2008). Заболоченные экосистемы в границах Муравьевского заказника включены в число водно-болотных угодий международного значения в рамках Рамсарской конвенции и зависят от водного режима Амура и Зеи (Бассейн реки Гильчин, 2016).

Цель работы — выявить и проанализировать направленность и масштаб изменений водных, околоводных экосистем вдоль реки Зея в связи с регулированием стока плотиной Зейской ГЭС. Без количественных данных о состоянии водных объектов сложно оценить

трансформацию экосистем и невозможно разработать меры для их поддержания или восстановления.

Материалы и методы

Основной принцип исследования состоит в том, что именно регулирование стока оказало решающее влияние на изменение экосистем. Другие возможные факторы трансформации экосистем (изменение климата, пожары) учитываются как дополнительные.

Для анализа гидрологического режима и определения его характеристик с помощью программного комплекса Indicators of Hydrologic Alteration проведена оценка трансформации водного режима р. Зея в нижнем бьефе Зейской ГЭС (Никитина, 2016).

По результатам дешифрирования разновременных данных спутниковой съемки в программной среде ArcGIS 10.1 выявлены и проанализированы изменения природных объектов поймы. Рассмотрены два участка широкой поймы, первый из которых расположен в непосредственной близости к плотине, второй — на расстоянии 350 км ниже по течению от плотины. Ретроспективный срез представлен материалами миссий CORONA, ARGON, LANYARD и мозаиками космофотоизображений, полученных в сентябре 1969 и 1971 гг., и отображает состояние территории при малонарушенном водном режиме. Современный период регулируемого стока представлен данными с космического аппарата Sentinel-2, полученными в сентябре 2016 г.

В литературных источниках найдены данные об изменении условий обитания пресноводных рыб в результате регулирования стока плотиной Зейской ГЭС.

Результаты

Оценка изменения водного режима

Для анализа степени изменения водного режима в бассейне р. Зея использованы данные суточных расходов воды в створе с. Белогорье за период 1957–2013 гг. Гидрологический пост Белогорье расположен на расстоянии 617 км от створа Зейской ГЭС, в 43 км от впадения Зеи в Амур. Для сравнительного анализа характеристик применялось программное обеспечение Indicators of Hydrologic Alteration. Ряд наблюдений был разделен на два временных промежутка:

1. 1957–1975 гг. — период до начала регулирования стока плотиной Зейской ГЭС;
2. 1985–2013 гг. — период регулирования стока.

В период 1975–1985 гг. шло заполнение Зейского водохранилища. Водный режим этого периода не относится ни к условно-естественному водному режиму, ни режиму регулирования стока в ходе эксплуатации ГЭС и исключен из анализа.

В естественных условиях сток за теплый период года (май — октябрь) составлял 94% годового объема; сток за холодный период года (ноябрь — апрель) — 6%. При регулировании стока суммарная доля стока за холодный период увеличилась до 28%, за теплый период года — снизилась до 72%. Уменьшились расходы воды за май (средний расход до регулирования 3900 $м^3/с$, средний расход при регулировании 2400 $м^3/с$), июнь (с 3900 до 2700 $м^3/с$) и июль (с 4500 до 2700 $м^3/с$) — в месяцы, важные для нереста ряда видов рыб. До эксплуатации плотины продолжительность малых паводков с обеспеченностью стока 50% составляла 20–58 дней, при регулировании стока малые паводки не наблюдались, за исключением сбросов воды во время выдающего наводнения 2013 года. Значения максимальных расходов за 30-дневный период до регулирования стока составляли 4500–12000 $м^3/с$, при регулировании — 2500–5700 $м^3/с$ (кроме 2013 года с величиной расхода воды 11600 $м^3/с$) (см. рис. 1). Снижение величин и продолжительности периода прохождения максимальных расходов (и, соответственно, уровней) воды приводит к деградации пойм и местообитаний, осушению нерестилищ и кормовых участков, изменению состава водной и околоводной растительности.

Оценка изменения объектов с помощью дистанционных методов

В результате дешифрирования данных дистанционного зондирования созданы два тематических слоя, описывающие объекты широкой поймы с детальностью,

соответствующей масштабу 1:50 000. Сравнительный анализ показал, что 2016 г. в сравнении с 1966 г. характеризовался повышенной водностью рек, впадающих в Зею ниже по течению от плотины.

К 2016 г. площадь озёр на обоих участках сократилась в сравнении с их площадью при малонарушенном режиме стока в 1969/1971 гг. (на 35% на первом участке, на 43% на втором участке), что с высокой вероятностью обусловлено изменением режима затопления пойменных территорий. Некоторые малые речные протоки превратились в цепь старичных озёр. На втором участке широкой поймы площадь заболоченных территорий сократилась на 37%. Площадь лесов выросла на первом участке в 1,7 раз, на втором в 3,8 раз. Это подтверждает тезис (Мартынов, 2013) о том, что изменение режима паводков или их прекращение обуславливает ускоренное развитие пойменных сукцессий, приводящих к формированию лесов или степных лугов. Площадь редколесий и кустарников сократилась на первом участке на 23% (часть территорий перешла в категорию лесов) и вдвое выросла на втором участке. Помимо фактора водного режима, этот рост может быть обусловлен влиянием частых пожаров: на нижнем участке реки Зея за последнее десятилетие (2006–2016 гг.) зарегистрировано около 4,5 тысячи очагов возгораний (Giglio, 2016). Под воздействием пожаров лесная растительность сменяется на древесно-кустарниковую, обедняется видовой состав растительности и животного мира. Площади заброшенных сельскохозяйственных территорий по большей части перешли в категорию лугов.

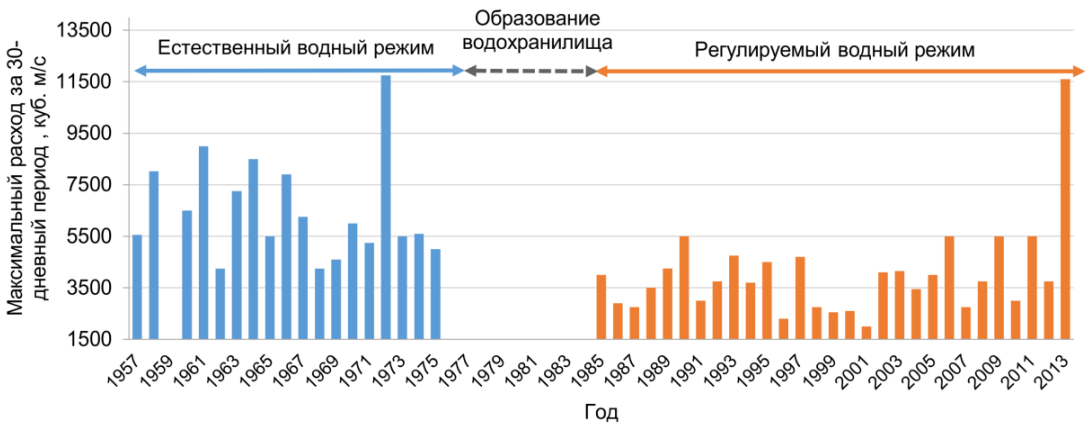


Рис. 1. Максимальные расходы за 30-дневный период при условно-естественном (1957–1975 гг.) и регулируемом (1976–2013 гг.) режиме стока: р. Зея, створ с. Белогорье

Сравнение оценок региональных трендов за периоды 1976–2006 и 1976–2012 гг. выявило тренд потепления +0.44°/10 лет в регионе Амура, однако этот тренд статистически незначим. Осредненные количества осадков за периоды 1936–2010 и 1976–2010 гг. продемонстрировали, что в регионе преобладают площади с трендами уменьшения годовых и летних осадков, однако процент их уменьшения весьма невелик (Второй оценочный доклад Росгидромета, 2014). Эти выводы согласуются с предположением, что изменение климата не является главной причиной выявленных изменений.

Изменение условий обитания рыбных сообществ

Устойчивость водных экосистем к неблагоприятным факторам зависят от разнообразия видового и популяционного состава гидробионтов. Обеднение видового состава делает экосистемы неустойчивыми к воздействию природных и антропогенных факторов (Дубинина, 2001, 2003).

Гидрологический режим водоема — один из основных факторов, влияющих на численность пресноводных рыб. От характера гидрологического режима зависит характер икрометания, выживаемость икры и молоди фитофильных рыб р. Амур (Никольский,

1956; Семенченко, 2008). Рыбы — конечное трофическое звено водных экосистем, поэтому их состояние служит индикатором экологической ситуации водной экосистемы (Фащевский 1996; Дубинина, 2003).

Основные лимитирующие численность пресноводных рыб факторы на Амуре — это обеспеченность рыб пищевыми объектами (Никольский, 1956), условия среды и размеры нерестилищ. Как указано в материалах (Семенченко, 2008), снижение летнего уровня воды в период нереста рыб-фитофилов привело к уменьшению размеров нерестилищ этих рыб. Снижение уровня воды в летние и осенние месяцы, т.е. в период нагула и роста рыб, приводит к сокращению первичной продуктивности, что обуславливает уменьшение пищевых объектов рыб. Уменьшается выживаемость и темпы роста, ухудшается подготовка рыб к зимнему периоду. Все это приводит к сокращению численности не только фитофильных, но и пелагофильных видов рыб.

Влияние низких температур воды проявляется на участке главного русла р. Зея протяженностью ста и более километров ниже плотины. Оно приводит к изменению видового разнообразия, биопродуктивности этого участка, снижению темпов роста рыб (Коцюк, 2009). Согласно Н.Н. Семенченко, повышенный зимний сток предотвращает заморы рыб, но в целом не способствует увеличению их численности (Семенченко, 2008). Кроме того, плотина Зейской ГЭС стала преградой для путей миграции рыб.

Выводы

Эксплуатация гидроузла на протяжении более сорока лет привела к изменениям во внутригодовом распределении стока, снижению затопления поймы в нижнем бьефе плотины, сокращению местообитаний флоры и фауны. Снизились величины и продолжительность максимальных расходов, имеющих гидроэкологическое значение для обводнения пойменных территорий и водных объектов, поддержания нерестилищ. С помощью данных дистанционного зондирования за 1969/1971 и 2016 гг. проведен сравнительный анализ состояния объектов поймы р. Зея в период до начала регулирования стока и после начала его регулирования. Анализ выявил пересыхание озёр и болот, превращение небольших речных проток в цепь старичных озёр, рост лесных территорий. Снижение уровня воды в летние и осенние месяцы привело к сокращению первичной продуктивности и уменьшению пищевых объектов рыб, снижению их выживаемости и темпов роста, что привело к сокращению численности фитофильных и пелагофильных видов рыб.

Для минимизации воздействия Зейского гидроузла на экосистемы должны быть разработаны и внедрены требования к экологическому попуску — специальному попуску воды из водохранилища, приближающему условия в нижнем бьефе к естественным. В настоящее время экологические попуски для Зейского водохранилища, основанные на биологических критериях, не разработаны и не реализуются.

Список литературы

Giglio L., Schroeder, W., Justice, C.O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178, 31–41.

Simonov, E. A. and Dahmer, T. D.: Amur-Heilong River Basin Reader, Hong Kong: Ecosystems Ltd, 2008.

Бассейн реки Гильчин: История. Водно-болотные угодья. Водные ресурсы. Власова С.Н., Воропаева И.С., Дугина И.О., Дунаева И.М., Ковтун А.В., Крамарева Л.Л., Краснова Е.Д., Лобарев С.А., Мардашова М.В., Никитина О.И., Никулина Т.В., Пакусина А.П., Платонова Т.П., Смиренский С.М., Трутнева Н.В., Щукин И.И. Владивосток: Дальнаука, 2016. 204 с.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Основной том. Под ред. А.В. Фролова. — Росгидромет Москва, 2014. — 1018 с.

Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). М.: Экономика и информатика. 2001. 118 с.

Дубинина В.Г. Экологические принципы использования и управления водными ресурсами южных рек России: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук: 25.00.36 / В. Г. Дубинина — Москва: [б. и.], 2003. — 56 с.

Коцюк Д.В. Формирование ихтиофауны Зейского водохранилища: ретроспективный анализ и современное состояние. — Автореферат дисс. канд. биол. наук. — Владивосток. — 24 с.

Мартынов А.В. Влияние регулирования речного стока на почвенный покров пойм крупных рек Зейско-Селемджинской равнины: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук: 25.00.36 / А. В. Мартынов — Хабаровск: [б. и.], 2013. — 23 с.

Никитина О.И. Влияние зарегулирования на водный режим и пресноводные экосистемы в бассейне Среднего Амура // *Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: сборник трудов X международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность»*, ИВП РАН, 6–8 декабря 2016 г. / Отв. ред. Н.Н. Митина. М: ИВП РАН, 2016. — С. 193–196.

Семенченко Н.Н. Гидрологический режим р. Амур и численность промысловых пресноводных рыб // *Современное состояние водных биоресурсов: мат-лы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова.* — Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. — С. 246–250.

Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. Минск: Экоивест. 1996. 240 с.

Фащевский Б.В. Экологическое значение поймы в речных экосистемах // *Ученые записки РГГМУ*. — 2007. — 5. — с. 118–129.

Transformation of freshwater ecosystems located below Zeya dam under conditions of water flow regulation

***Nikitina O.I.*[1, 2], *Bazarov K.Yu.*[3, 4], *Egidarev E.G.*[2, 3], *Kanzeparova A.N.*[5]**

[1]*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

[2]*World Wide Fund for Nature (WWF-Russia), Moscow, Vladivostok*

[3]*The Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Vladivostok*

[4]*Far Eastern Federal University, Vladivostok*

[5]*Pacific Research Fisheries Center (TINRO-Center), Vladivostok*

onikitina@wwf.ru

Abstract: The influence of the Zeya dam operation on the freshwater ecosystems within the Zeya floodplain has been reviewed. In order to assess the ecosystems' changes and to subsequently develop environmental flow releases from the Zeya reservoir, changes in the flow regime and the objects of a wide floodplain below the Zeya dam have been analyzed. The main principle of the research is that the flow regulation has had a decisive impact on changes in the river valley ecosystems. The results of the flow regime analysis reveal a significant intra-annual distribution of monthly discharges, reduction of maximum flow magnitude and duration, and a decrease in water discharges during the warm period of the year. Based on the results of the interpretation of the satellite imageries of 1969/1971 and 2016, changes in the floodplain objects of the Zeya River have been analyzed. Two sections of a wide floodplain at different distances from the dam have been considered. The analysis has revealed a decrease in surface areas of oxbow and floodplain lakes, a transformation of small streams into chains of oxbow lakes, and an increase in floodplain forest areas. The information on altered conditions of freshwater fish habitat being a result of the flow regulation by the Zeya dam has been provided. The decrease in water levels and discharges in both summer and autumn periods has led to a decrease not only in primary productivity, but also in both the fish survival rate and fish growth rate, triggering a decrease in the population of phytophilous and pelagophilous fishes.

Keywords: flow regulation, Zeya dam, environmental flow release, freshwater ecosystem conservation, floodplain, remote sensing data, ichthyofauna.

Специфические гидрохимические классы вод

Озерский А.Ю.
ОАО "Красноярская горно-геологическая компания", г. Красноярск
ozerski@krasgeo.ru

Аннотация: Характеризуются специфические гидрохимические классы вод: гидроксидные, нитратные и фторидные. Рассматриваются концентрации и источники происхождения гидроксила, нитратов и фторидов в водных объектах. Гидроксидные воды представляют собой высокощелочные бескарбонатные воды, которые образуются в природных и техногенных условиях. Нитратные воды формируются преимущественно в техногенных условиях, связанных с производством и использованием удобрений, хозяйственно-фекальными стоками, радиохимическим производством, применением аммиачно-селитренных взрывчатых веществ. Фторидные воды возникают в условиях постоянного поступления ионов фтора за счет растворения фторсодержащих минералов.

Ключевые слова: гидрохимия, классификация, гидроксид, нитрат, фторид

Введение

В классификациях химического состава природных вод, разработанных в первой половине двадцатого столетия, первым и основным шагом было подразделение природных вод по преобладающему анионному составу. Анионы, по сравнению с катионами, являются более стабильными компонентами природных вод и несут в себе информацию об их генезисе, условиях формирования и гидрогеохимической зональности. Природные воды были подразделены по анионному составу на три класса по О. А. Алекину (1953) или три типа по Н. И. Толстихину (1966): гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные. При этом наименования классам воды давались в том случае, если доля соответствующего аниона превышала 20 (или 25) процентов от общей эквивалентной массы анионов (%-экв), а ионы с такими высокими относительными концентрациями именовались главными.

Такое подразделение вод на три класса отвечало состоянию гидрохимических знаний в XX веке. Однако, с течением времени, усиливалось воздействие человека на природные воды, что привело к внедрению в гидросферу новых химических веществ. Одновременно возрос уровень изученности, в том числе за счет совершенствования лабораторных методов исследования воды. В наши дни уже стало понятным, что наблюдаемое разнообразие природных вод уже не укладывается в три названных класса. Сейчас мы можем уверенно говорить о правомерности включения в число главных анионов гидроксида, нитрата и фторида и о наименовании соответствующих им классов природных вод.

1. Гидроксидные воды. Гидроксидные ионы обусловливают щёлочность воды. В большинстве случаев, относящихся к природным водам, основная масса ионов гидроксида обязана своим происхождением гидролизу угольной кислоты. Именно поэтому при химическом анализе воды на карбонаты и гидрокарбонаты анализируются общая щелочность и свободная щелочность, которые воды отечественными аналитиками относится к гидрокарбонатному и к карбонатному ионам (ГОСТ..., 2013). При этом авторы этого метода анализа совершенно справедливо указывают, что он достоверен в интервале pH от 4 до 9 (Резников и др., 1970). Во всех водах, как записано в методике анализа, щелочность создается не только ионами HCO_3^- и CO_3^{2-}, но также ионами OH^- (ГОСТ..., 2013) и, чем выше щелочность, тем выше концентрация гидроксида.

При этом существуют щелочные геохимические условия, при которых поступление в воду диоксида углерода минимально или вовсе исключено. Именно в таких условиях

формируются бескарбонатные гидроксидные воды, которые в наши дни, вследствие применения несовершенного метода анализа, аналитиками и, вслед за ними, гидрохимиками ошибочно принимаются за карбонатные воды. Из-за того, что ион OH^- ошибочно принимают за CO_3^{2-}, аналитики неверно рассчитывают минерализацию воды, так как эквивалентная масса гидроксида в 1,7 раза легче, чем у карбонатного иона. Кроме этого, неверно понимаются геохимические условия формирования состава природных вод.

Гидроксидные воды реально существуют как в природных, так и в техногенных условиях. Например, в Иордании известны родники Макарин (Maqarin), выходящие из осадочных пород, содержащих *портландит* $Ca(OH)_2$ (Steefel, Lichtner, 1998). Растворение этого минерала приводит к формированию "гиперщелочных" (Steefel, Lichtner, 1998) гидроксидных кальциевых вод, характеризующихся следующей формулой солевого состава (по М. Г. Курлову):

$$M_{1,2-1,9}\frac{OH\,60-74\ SO_4\,14-19\ Cl\,4-15}{Ca\,88-94\ Na\,5-9\ K\,2-6}\,pH\,12{,}3-12{,}8$$

Несмотря на низкую молярную молярную массу гидроксида (17 г/моль) он составляет около 40 % от общей минерализации воды родников Макарин, а по абсолютным величинам уступает только кальцию (табл. 1).

Табл.1. Химический состав гидроксидных вод, мг/л

Водопункт	OH^-	CO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Мин.
Родники Макарин, Иордания (Steefel, Lichtner, 1998)									
Родник М1	446	–	305	53	673	0,01	47	99	1623
Родник М2	274	–	273	136	429	0,01	51	15	1178
Родник М3	556	–	289	145	806	0,01	47	20	1862
Родники в офиолитовом поясе Северного Омана (Neal, Stranger, 1984)									
Карку	102	–	5	343	76	0,3	265	11	801
Джебель-Аук	194	–	13	927	62	0,04	826	22	2043
Золоотвалы теплоэлектростанций *									
БГРЭС	576	8	170	48	554	5,4	71		1680
НГРЭС	607	34	38	31	162	14,4	277		1180
ТЭЦ-1	477	80	32	28	291	0,01	20	11	935
Nanticoke GS	193	36	950	28	450	0,1	67	16	1740

** Примечание: БГРЭС – Березовская ГРЭС, бассейн осветленной воды; НГРЭС – Назаровская ГРЭС, золошлаковый горизонт; ТЭЦ-1 – Красноярская ТЭЦ-1, сброс пульпы; Nanticoke GS – золоотвал теплоэлектростанции Нантикоук, Канада (Dodd, 1983)*

Своеобразным химическим составом характеризуются воды родников, образующиеся при разложении ультраосновных пород офиолитового пояса Семайл в Северном Омане (Neal, Stranger, 1984). Здесь в родниках разгружаются бескарбонатные гидроксидно-хлоридные натриевые воды:

$$M_{0,8-2,0}\frac{Cl\,61-69\ OH\,30-38\ SO_4\,1}{Na\,74-91\ Ca\,8-24\ K\,1-2}\,pH\,11{,}5-11{,}6$$

Формирование гидроксидных вод известно также в техногенных условиях, возникающих в золошлакоотвалах от сжигания бурых углей Канско-Ачинского угольного бассейна (Гаврилин, Озерский, 1996), а также некоторых других бурых и битуминозных углей (Dodd, 1983). При сжигании ископаемого угля, характеризующегося высоким содержанием кальция, в золе образуется свободный оксид кальция. Его гидратация, при

гидравлическом удалении золошлаковых отходов, приводит к образованию гидроксида кальция и к формированию бескарбонатных гидроксидных кальциевых вод. Например, средний состав пульпы системы гидрозолоудаления Красноярской ТЭЦ-1 имеет вид:

$$M_{0,9}\,\frac{OH88\ HCO_3 5\ SO_4 4\ Cl3}{Ca93\ Na+K7}\,pH\,12{,}2$$

.

Примерно такой же состав имеют природные воды, циркулирующие в техногенном золошлаковом горизонте золоотвалов теплоэлектростанций, работающих на канско-ачинских и некоторых других бурых углях (таблица). Массовая доля гидроксидных ионов в среднем составляет 30…50% от общей минерализации в водах золоотвалов из бурых углей и около 10% в золоотвалах из битуминозных углей.

Таким образом, гидроксидный состав природных и техногенных вод характерен для высоко щелочных вод, pH которых превышает 10…11. При изучении таких вод необходимы специальные виды анализа, позволяющие различать карбонатную и гидроксидную щёлочность водной среды, а концентрацию гидроксидных ионов рекомендуется вычислять из величины pH.

2. Нитратные воды. Азот является одним из редких элементов в земной коре, его кларк равен 0,002% (20 мг/кг). Несколько больше распространенность азота в осадочных породах (39…2000 мг/кг) и в почвах (около 1000 мг/кг) (Иванов, 1994). При этом обычно свыше 99 % литосферного азота находится в негидролизуемых минеральных формах. Поэтому в природной обстановке концентрации соединений азота обычно не могут достичь высоких концентраций, обусловливающих их доминирующую роль в составе воды.

Тем не менее, в природных ненарушенных условиях соединения азота (аммоний, нитриты и нитраты) поступают из естественных источников в водные объекты, причем в большинстве случаев наиболее высокие концентрации характерны для нитратов. В речных водах среднее содержание нитратов равно 1 мг/л (Livingstone, 1963), что составляет около 1,1 %-экв от массы анионов. Среднее нитратов в грунтовых водах зоны гипергенеза равно 3,41 мг/л или 0,9 %-экв (Шварцев, 1978).

Из-за низких содержаний гидролизуемого азота в недрах, ландшафтах и природных водах происхождение нитратных вод, в которых ион NO_3^- доминирует или превышает 20 %-экв, в подавляющем большинстве случаев обусловлено хозяйственной деятельностью человека. Нитратные воды возникают как результат следующих видов хозяйственной деятельности:

1. Производство нитратных удобрений.
2. Внесение нитратных удобрений в почвы.
3. Размещение фекальных отходов животноводства (птицеводства).
4. Размещение и сброс хозяйственно-бытовых коммунальных стоков.
5. Радиохимическое производство.
6. Использование аммиачно-селитренных взрывчатых веществ.

В настоящее время концентрации нитратов в подземных водах освоенных территорий обычно не превышают 9 мг/л (Крайнов, Закутин, 1994) , хотя в отдельных крупнейших бассейнах природных вод отмечаются концентрации от 45 до 225 мг/л и более (Закутин, 1994) . В водах с невысоким содержанием нитратов последние находятся в различных соотношениях с природными анионами. В зоне гипергенеза наиболее часто встречаются воды NO_3–HCO_3 и HCO_3–NO_3 классов. Вместе с тем, поступление нитратов в водные объекты приводит к глубокой техногенной метаморфизации состава вод, которая выражается в росте концентраций почти всех главных ионов.

При большом поступлении в подземные водные объекты нитратных вод с высокими концентрациями NO_3^- техногенная метаморфизация сменяется механизмом поршневого вытеснения и природные воды полностью заменяются техногенными. Поступление

нитратных стоков предприятия «ПО «Маяк» (Челябинская область) в озеро Карачай вызвало формирование вокруг этого озера высокоминерализованных нитратных натриевых вод (Водоем-9…, 2007).

Вероятно, возможно формирование нитратных вод природного генезиса. Это возможно на участках скоплений птичьего гуано или на участках танатоценозов водных организмов. По-видимому, спорадический рост концентраций нитратов в подземных водах в районе оз. Тагарского в Красноярском крае, богатого зоопланктоном, вызывается разложением отмерших организмов.

3. Фторидные воды. Хотя фтороносные воды достаточно широко распространены, фтор-ион крайне редко входит в группу главных ионов, что обусловлено его сложными миграционными особенностями. Фторид кальция трудно растворим (растворимость CaF_2 при 20°С равна 0,016 г/л), поэтому накопление фтора в природных водах лимитируется присутствием ионов кальция. Крайней степенью благоприятности для накопления фтора обладают высоко щелочные натриевые бескальциевые воды (Крайнов, 1988) . В таких водах содержания фтора увеличиваются с ростом их минерализации, поэтому и в таких водах фтор остается в числе второстепенных ионов.

В маломинерализованных фтороносных водах содержания фтора обычно составляют первые единицы мг/л, достигая 30 мг/л (Крайнов и др., 1994). Аномально высоких концентраций фториды достигают в высоко щелочных натриевых водах и рассолах в зоне Восточно-Африканского рифта. Здесь концентрации фтора в горячих термальных источниках достигают 330 мг/л, а в воде оз. Магади (Кения) – 1980 мг/л (Eugster, 1970) . Минерализация в этом озере достигает 321 г/кг, в воде преобладают ионы Na^+ и CO_3^{2-}, поэтому здесь фтор не входит в число главных ионов.

Возможности для формирования фторидных вод возникают только в условиях постоянного поступления в водную среду ионов фтора за счет растворения водовмещающих минералов, содержащих фтор. При этом фтор редко доминирует среди анионов, значительно чаще он является вторым или третьим по значимости, однако, не будучи первым, он все же входит в наименование химического состава воды.

Так, С. Р. Крайнов и др. (1988) описали фторидно-кремнистые натриевые трещинные воды Ловозерского массива щелочных пород (Хибины) с содержаниями фтора от 10 до 15 г/л (25 %-экв) и минерализацией до 65 г/л. В этих условиях фторидные воды формируются за счет растворения минерала *виллиомита* NaF, имеющего растворимость при 20°С 42,8 г/л.

Л. В. Замана (1990) показал, что «*фторидные воды как особое геохимическое явление достаточно широко и разнообразно представлены в Забайкалье и имеют различную природу*». Одним из источников фтора является растворение минерала *криолита* Na_3AlF_6 (растворимость 0,42 г/л), в гидрогеохимическом ореоле оруденения которым формируются фторидные и гидрокарбонатно-фторидные воды. Их минерализация вод здесь не превышала 114 мг/л, а содержания фтора составляли 4,4-40,9 мг/л, причем доля фтора достигала 35,9 %-экв. Фторидные воды также обнаружены в азотных щелочных натриевых термах Байкальской рифтовой зоны. Содержание фтора в термах не превышает 26,4 мг/л, а его доля среди анионов – 26,3 %-экв. Поэтому фтор является вторым или третьим по значимости анионом, но определяет наименование классов воды, среди которых преобладают фторидно-гидрокарбонатные или фторидно-сульфатно-гидрокарбонатные (Замана, 1990).

Наконец, фторидные и фторидно-гидрокарбонатные воды характерны для водоносных зон трещиноватости в ряде гранитоидных комплексов Забайкалья. Эти воды имеют очень малую минерализацию, не превышающую 112 г/л. Поэтому фтор, при невысоких

абсолютных концентрациях до 4 мг/л составляет заметную долю в суммарной эквивалентной массе анионов, достигающую 54,3 %-экв (Замана, 1990).

В техногенных условиях возможности для формирования фторидных вод возникают при производстве первичного алюминия. При выплавке этого металла используется *криолит*. Криолит содержится в шламовых отходах, которые гидравлическим способом сбрасываются на шламовые поля. В шламовых полях Красноярского алюминиевого завода вода характеризуется следующей формулой среднего солевого состава:

$$M_{86,5}\frac{HCO_3+CO_3\,44\ F29\ SO_4\,24}{Na95\,K4,8}\,pH\ 8,9$$

.

Концентрация фтора в шламовой воде достигает 8 г/л. При инфильтрации шламовых вод в подстилающий природный водоносный горизонт, воды которого содержат кальций, происходит резкое снижение концентраций фтора до 6…21 мг/л, при этом фтор быстро выбывает из числа главных ионов (Озерский, Ботвич, 2008). В связи с этим фторидные воды, связанные с производством алюминия имеют локальное распространение, их ореолы приурочены к полям шламовых отходов.

Заключение

Кроме классических гидрохимических классов воды (гидрокарбонатного, сульфатного и хлоридного) в гидросфере встречаются также специфические классы: гидроксидный, нитратный и фторидный. Формирование этих специфических классов воды происходит как в природной, так и в техногенной обстановках. Наиболее широко встречается нитратный класс вод, тогда как гидроксидные и фторидные воды характеризуются локальными проявлениями.

Мы полагаем, что в существующие гидрохимические классификации должны быть внесены изменения, учитывающие наличие названных специфических классов вод.

Обнаружение нитратных и фторидных вод современными лабораторными методами проблем не вызывает. Для выявления и описания гидроксидных (щелочных бескарбонатных) вод необходимо совершенствование методов лабораторного анализа и методов обработки результатов.

Список литературы

Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1953: 296 с.

Водоем-9 – хранилище жидких радиоактивных отходов и воздействие его на геологическую среду / Алексахин А.И., Глаголев А.В. и др.: – М.: Гидроспецгеология, 2007: 250 с.

Гаврилин К.В., Озерский А.Ю. Канско-Ачинский угольный бассейн. М., Недра, 1996: 272 с.

Закутин В. П. Нитратное загрязнение вод территории СНГ и сопредельных стран / В. П. Закутин, Д. А. Фетисенко и др. // Водные ресурсы, Т. 21, № 23, 1994: 374-380.

ГОСТ 31957-2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Введ. 01.01.2014. – М.: Стандартинформ, 2013: 25 с.

Замана Л.В. Фторидные воды Забайкалья // Доклады Академии наук, т. 315, № 5, 1990: 1230-1233.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 кн. М.: Недра, 1994. – Кн. 2: Главные р-элементы. – 303 с.

Крайнов С.Р., Шваров Ю.В. и др. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии, М.: Недра, 1988: 254 с.

Крайнов С. Р., Закутин В. П. Геохимико-экологическое состояние подземных вод России (причины и тенденции изменения химического состава подземных вод) // Геохимия, № 3, 1994: 32-39.

Озерский А. Ю., Ботвич Г. Ф. Влияние твердых отходов производства первичного алюминия ОАО "РУСАЛ Красноярск" на качество подземных вод // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Инженерные исследования, № 3, 2008: 98-102.

Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. – 3-е изд. – М.: Недра, 1970: 488 с.

Толстихин Н. И. О классификации природных вод по химическому составу и их нумерации // Изв. Забайкальского филиала геогр. о-ва, т. 2, вып. 3, 1966: 13-27.

Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1978: 287 с.

Dodd D. J. R. Coal-fired power generation in Ontario – a 60 year phenomenon. Coal ash disposal in Ontario – a 1000 year legacy // Water Sci. Technol., v. 15, 1983: 65-82

Eugster H. P. Chemistry and origin of the brines of lake Magadi, Kenya // Mineral. Soc. Amer. Spec. Pap. 3, 1970: 213-235.

Livingstone D. A. Chemical Composition of Rivers and Lakes // Data of Geochemistry. Chapter G. 6th Edition. – Washington, US Government Printing Office, 1963: 64.

Neal C., Stranger G. Calcium and magnesium hydroxide precipitation from alkaline groundwaters in Oman, and their significance to the process of serpentinization // Mineralogical Magazine, Vol. 48, 1984: pp. 237-241.

Steefel C. I., Lichtner P. C. Multicomponent reactive transport in discrete fracture II: Infiltration of hyperalkaline groundwater at Maqarin, Jordan, a natural analogue site // Journal of Hydrology, 08, 209(1), 1998: 200-224.

Specific hydrochemical water facies

Ozerskiy A. Yu.

Krasnoyarskgeologia Joint Stock Company, Krasnoyarsk, Russian Federation

ozerski@krasgeo.ru

Abstract: Specific hydrochemical water facies such as hydroxide, nitrate and fluoride are characterized. Concentrations and sources of the origin of hydroxide, nitrate and fluoride in water bodies have been describe. Hydroxide facies is hyper alkaline, non-carbonate water that is formed in natural and technogenic conditions. Nitrate facies is mainly formed in technogenic conditions associated with the production and using of fertilizers, domestic effluent, radiochemical production, and also using of ammonia-nitrate explosives. Fluoride facies is the result of constant intake of fluoride ions due to the dissolution of fluorine-bearing minerals.

Keywords: hydrochemistry, classification, hydroxide, nitrate, fluoride

Погодно-климатические риски для секторов экономики и социальной сферы Нижегородской области

***Петерс А.А.*, Васильев М.П., Тюсов Г.А.**
Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова
194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7
peters.ana@mail.ru

Аннотация: В статье предлагается методика оценки экономического и социального риска от опасных и неблагоприятных явлений погоды, основанная на использовании социально-экономической и метеорологической информации, опробованная на примере территории Нижегородской области.

В работе определены основные погодно-климатические риски, проанализировано влияние наблюдаемых и ожидаемых в будущем климатических изменений на величину рисков, предложены адаптационные мероприятия для различных секторов экономики и социальной сферы.

Ключевые слова: адаптация, погодно-климатические риски, экономический и социальный риск, опасные гидрометеорологические явления, изменение климата Нижегородской области.

Стихийные природные явления являются фактором, приводящим к возникновению природно-климатических рисков для экономики и социальной сферы регионов РФ. В связи с этим актуальным является выявление и определение этих рисков.

Погодно-климатический риск - сочетание вероятности опасного природного явления и последствий наступления неблагоприятного события; он определяется как произведение вероятности конкретной метеорологической опасности на вероятность уязвимости реципиента, который может оказаться подверженным этой опасности; риск выражается в долях единицы или процентах.

Климатический риск существует, если на данной территории наблюдаются опасные или неблагоприятные метеорологические явления и имеется некий объект (реципиент риска), находящийся под их вероятным воздействием и уязвимый к ним.

Метеорологические и климатические явления включают в себя перечень опасных и неблагоприятных явлений, а также проявления медленных климатических изменений. В качестве реципиента риска может выступать население, территории, отрасли экономики, технические объекты и процессы, экосистемы.

Анализ погодно-климатических рисков ориентирован на выявление различных видов риска, их количественное определение, прогноз их взаимодействия с антропогенной средой. Данный анализ выполняется в несколько этапов: идентификации риска, количественной оценки риска и прогноза риска, управления рисками. Подробно методика изложена в [Кобышева и др., 2015, World Risk Report, 2014, Васильев М.П., Петерс А.А, 2017].

В общем виде погодно-климатический риск может быть определен по формуле, учитывающей повторяемость опасного (ОЯ) или неблагоприятного (НГЯ) гидрометеорологического явления и уязвимость объекта, подвергающегося воздействию опасного природного явления. В соответствии с определением МГЭИК уязвимость – это предрасположенность к неблагоприятному воздействию. Понятие уязвимости включает в себя разнообразные аспекты такие, как чувствительность или восприимчивость к ущербу, отсутствие способности справляться с проблемой и адаптироваться.

Применяемый в данной работе косвенный метод оценки уязвимости территории к опасным явлениям основан на зависимости уязвимости от степени развития территории,

подвергшейся бедствию. Территория с более развитой экономикой, высокой плотностью населения испытывает больший ущерб при прохождении через нее ОЯ. Уязвимость также зависит от географических и климатических особенностей территории, формирующих определенные характеристики ОЯ.

Основой механизма управления риском является определение ущерба, создаваемого опасным событием. Ориентировочно экономический ущерб от ОЯ может быть выражен через долю ВРП, приходящуюся на жителей охваченного ОЯ района. При таком подходе может быть приближенно определена нижняя граница возможного ущерба от данного ОЯ. Тем не менее, реальные ущербы обычно превышают оценки, полученные на основе ВРП. Поэтому при наличии данных о величине ущербов, они должны включаться в расчет экономического риска.

Социальный риск определяется на основе сопоставления повторяемости ОЯ и социальной уязвимости населения. При оценке социальной уязвимости наиболее важным является учет возрастной структуры населения, уровень доходов, качество жилищных условий, уровень здравоохранения и т.д.

Нижегородская область относится к наиболее развитым в экономическом отношении субъектов РФ. В области преобладает городское население (80%).

Наличие развитой инфраструктуры обуславливает нахождение на территории области большого количества потенциально опасных объектов. К ним, прежде всего, относятся объекты, использующие, хранящие и перерабатывающие опасные химические, радиоактивные вещества, гидротехнические сооружения (нефтеперерабатывающие заводы, ГЭС, АЭС, ТЭС и т.д.). При возможном воздействии на них ОЯ и НГЯ создаются дополнительные риски. Угрозу для безопасного и эффективного функционирования этих объектов представляют грозы, экстремально высокие температуры воздуха, суммы осадков и скорости ветра, интенсивные гололедно-изморозевые отложения и снегопады.

За период 1991-2015гг. на 69 метеостанциях и постах области было зафиксировано 217 различных гидрометеорологических явлений, соответствующих критериям опасных [РД 52.04.563, 2013]. Повторяемость суммарного количества ОЯ, осредненного по территории муниципальных образований Нижегородской области, представлено на рисунке 1.

Экономический ущерб от гидрометеорологических явлений не всегда связан только с явлениями, достигшими критериев опасных. По данным ВНИИГМИ-МЦД за рассматриваемый период на территории области был зарегистрирован ущерб от 370 неблагоприятных явлений, при этом примерно половина из них не достигла критериев опасных явлений.

Чаще всего на территории области экономический ущерб связан с сильным ветром. Наибольшая величина годового прямого ущерба от ОЯ и НГЯ составила около 1 млн. долларов (стоимостные оценки ущерба в долларах позволяют сделать эти величины более сравнимыми за разные годы). Однако, косвенный экономический ущерб от гидрометеорологических явлений по разным данным может превышать прямой примерно в 3-5 раз.

Экономический риск от ОЯ м НГЯ для муниципальных образований Нижегородской области, рассчитанный по указанной методике, представлен на рис. 2.

Как видно на рис. 2., значения экономического риска наиболее высоки в тех районах, где наблюдается сочетание повышенной повторяемости экстремальных явлений и высокой плотности населения и развитой инфраструктуры (Арзамас, Кстово, Дзержинск). Экономический риск от ОЯ на территории Нижнего Новгорода примерно в 10 раз превышает значения риска в Арзамасе и Кстово.

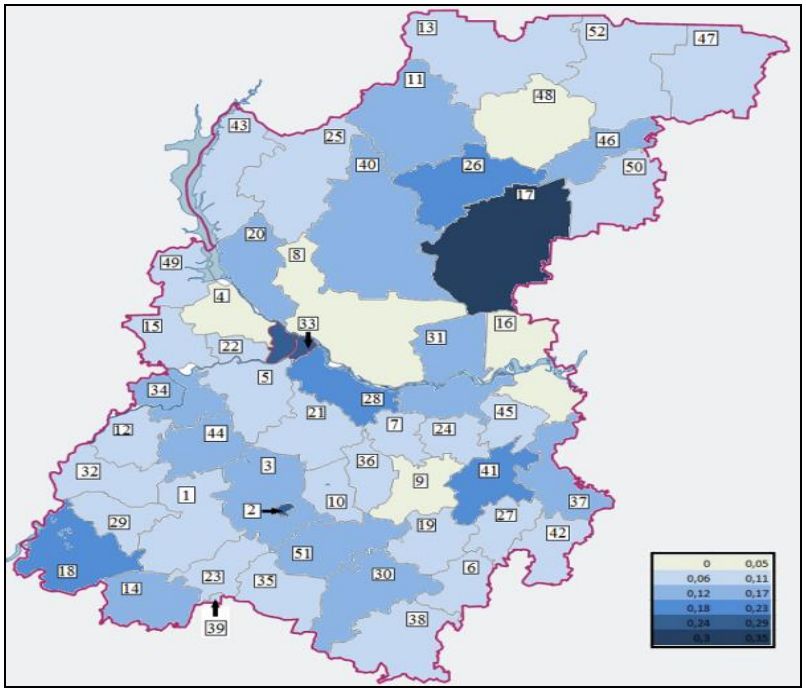


Рис. 1. Повторяемость суммарного количества ОЯ в муниципальных образованиях Нижегородской области

Распределение по территории Нижегородской области социального риска представлены на рис.3. Оценка социального риска показывает важность социальной защищенности населения муниципальных объединений. Наибольшая величина риска от ОЯ и НГЯ для населения характерна для Арзамасского и Краснобаковского районов, где наряду с довольно высокой повторяемостью ОЯ отмечается большой процент людей, живущих в ветхих и аварийных домах, а также недостаточно развитая система здравоохранения.

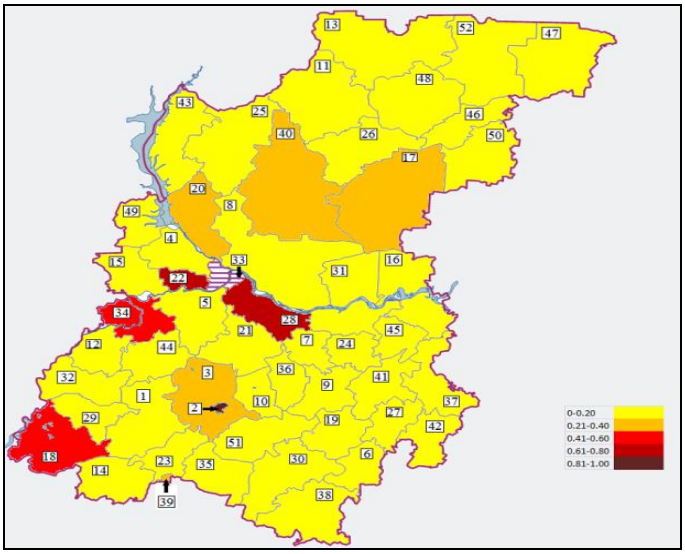


Рис. 2. Экономический риск от ОЯ м НГЯ для муниципальных образований области (без Нижнего Новгорода), выраженный в долях единицы.

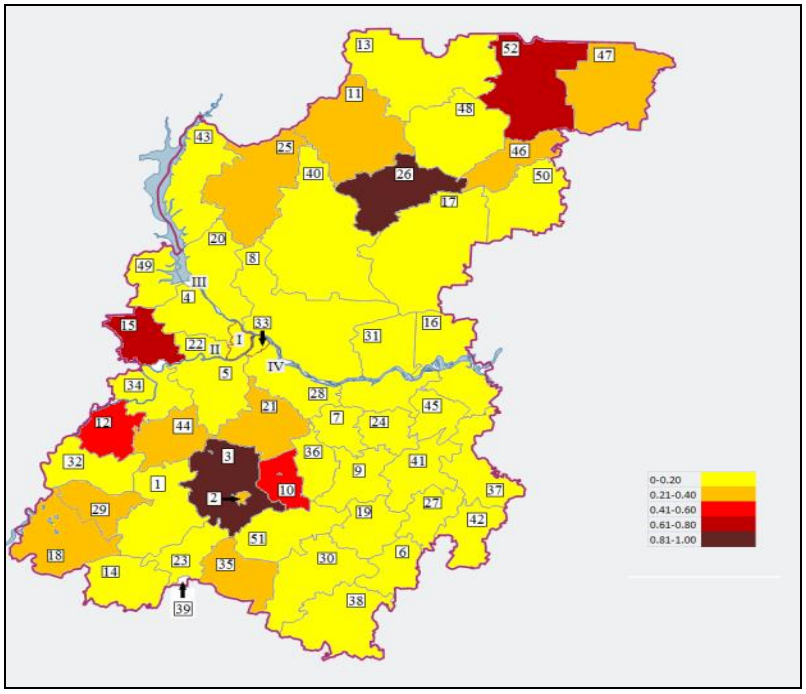


Рис. 3. Риск от ОЯ и НГЯ для населения муниципальных объединений области, выраженный в долях единицы.

Наиболее ощутимые воздействия на объекты инфраструктуры можно ожидать в тех районах, где происходит увеличение подверженности и уязвимости этих объектов (несоблюдение строительных норм при постройке новых и ремонте старых зданий и т.д.) при одновременном росте количества и интенсивности ОЯ и НГЯ.

На территории Нижегородской области в последние десятилетия наблюдается слабо выраженный тренд увеличения числа ОЯ и НГЯ (рис.4). Однако наряду с ним присутствует и циклическая составляющая изменения количества природных явлений. Учитывая материалы МГЭИК, можно утверждать, что число экстремальных гидрометеорологических явлений будет расти и дальше, т.к. увеличивается изменчивость и экстремальность климата.

В работе проведен анализ изменения основных метеорологических параметров за последние 25 лет и результатов климатического прогноза на середину XXI века.

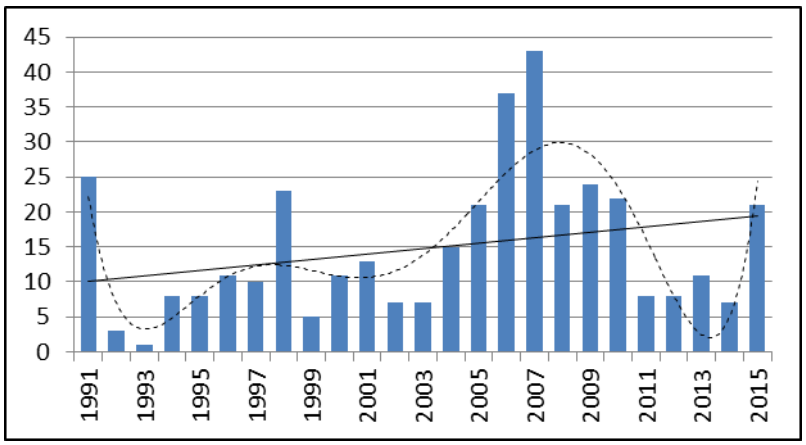


Рис.4. Изменение годового числа ОЯ и НГЯ, нанесших ущерб на территории Нижегородской области в 1991-2015 гг.

Увеличение температуры воздуха наблюдается на всей территории Нижегородской области, однако, наиболее сильно оно проявляется на севере области. Наибольший вклад в увеличение годовых температур воздуха вносит рост зимних температур, при этом рост летних температур происходит медленнее. Это приведет к возрастанию рисков, связанных с аномально высокой температурой воздуха, и, прежде всего, с длительными периодами жаркой погоды (так называемыми волнами жары), повышенной пожароопасностью и т.д.

Наблюдаемое и ожидаемое в будущем возрастание средних и экстремальных сумм осадков, вероятно, приведет к увеличению уровня грунтовых вод, создавая риски подтопления и затопления территорий, в первую очередь, в городах, где система дождевой канализации может быть не рассчитана на увеличенные объемы сточных вод. Кроме того, более сильные осадки создают опасность просадочных явлений. Это особенно актуально для южной части области, где интенсивно развиваются карстовые процессы.

Изменение режима увлажнения ощутимо влияет на гидрологический режим р. Волги в районе Нижегородской ГЭС. В соответствие с данными климатического моделирования к середине XXI века ожидается увеличение средней годовой выработки электроэнергии на ГЭС на 3-5% в связи с возрастанием объема годового стока. Также, вероятно, сохранится тенденция к увеличению стока в холодный период года, обусловленная возрастанием доли жидких осадков и частоты оттепелей из-за роста температуры воздуха. Этот процесс ведет к выравниванию внутригодового распределения стока и способствует оптимизации режимов работы ГЭС, так как в зимнее время возрастают бытовые нагрузки на энергетические системы. Отрицательным фактором является увеличение расходов воды редкой обеспеченности (1% и 0,01%) на 5-9%, что может вызвать нештатные ситуации в работе ГЭС и привести к катастрофическим последствиям для населения и инфраструктуры прилегающих районов [Тюсов Г.А., 2014].

В последние годы также отмечается увеличение среднего максимума скорости ветра, что свидетельствует о возрастании вероятности возникновения опасных скоростей ветра и риска опасных явлений, связанных с ним (шквалов, смерчей и т.д.).

Оценки экономического и социального риска от опасных гидрометеорологических явлений позволяют выявить районы, наиболее подверженные и уязвимые к таким воздействиям, и определить те составляющие риска, которые создают наибольшую опасность. Информация о рисках служит основой для разработки соответствующих адаптационных мер.

На территории Нижегородской области зоны наибольшего экономического риска от ОЯ приурочены к наиболее экономически развитым и густонаселенным районам и городским территориям. В этих районах оптимальной адаптационной стратегией по снижению погодно-климатических рисков является создание инфраструктуры, более устойчивой к климатическим воздействиям.

Эта стратегия включает актуализацию нормативных документов по строительству, содержащих специализированную климатическую информацию, с целью учета метеорологических данных за последние десятилетия; ужесточение контроля над соблюдением строительных норм и правил при проведении строительных и ремонтных работ; реконструкция сетей водоотведения с целью уменьшения утечек воды, способствующих размыву грунта и просадочным явлениям; развитие «зеленого строительства» (увеличение территорий парков и скверов, где отсутствует твердое покрытие) и т.д.

Особое внимание следует уделить снижению рисков в энергетическом секторе, в частности оптимизации работы Нижегородской ГЭС. В условиях изменения климата увеличивается изменчивость выработки электроэнергии на ГЭС, снижается безопасность гидроузлов и повышается риск повреждения гидротехнических сооружений. Среди факторов риска, которые должны быть оценены, обязательным является переоценка водопропускной способности сооружений. В настоящее время в ряде случаев не

используется полностью возможность для увеличения выработки энергии, связанная с перераспределением внутригодового стока, а также создается опасность чрезвычайных ситуаций. Для повышения безопасности и эффективности функционирования ТЭС следует предусмотреть дополнительные меры для повышения надежности систем охлаждения энергоблоков, в частности подготовить резервные системы охлаждения.

Для снижения «остаточного» риска необходимо дальнейшее повышение надежности прогноза опасных и неблагоприятных погодных явлений и улучшение качества информированности населения об ожидаемых ОЯ и НГЯ, а также о методах уменьшения воздействия этих явлений на жизнь и здоровье населения. Эффективной мерой уменьшения и перераспределения риска являются различные системы страхования, которые значительно облегчают процессы восстановления объектов экономики и социальной сферы на территории, подвергшейся воздействию ОЯ.

В районах со слаборазвитой инфраструктурой, низкими доходами домохозяйств, большой степенью износа жилого фонда необходимыми мерами по снижению риска, кроме перечисленных выше, являются меры, направленные на повышение социальной защищенности людей. Они включают в себя выделение дополнительных средств на расселение людей из ветхих и аварийных домов, улучшение транспортной инфраструктуры, повышение доступности медицинской помощи и т.д.

На основании полученных результатов авторами были разработаны предложения по учету информации о погодно-климатических рисках при принятии решений в отраслях экономики и социальной сферы Нижегородской области. Для каждой отрасли экономики (в соответствие с Общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД-2015)) выбраны наиболее значимые последствия от ОЯ и НГЯ и предложены меры, позволяющие повысить адаптационный потенциал отрасли. Постепенная реализация адаптационных мероприятий может позволить в будущем ослабить негативные последствия опасных гидрометеорологических явлений.

Представленный в работе подход позволяет включить информацию о погодно-климатических рисках в процесс разработки социально-экономической стратегии субъектов РФ и определить оптимальные пути адаптации к изменению и изменчивости климата.

Список литературы

Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. Санкт-Петербург: Кириллица, 2015, 213 стр.

World Risk Report. 2014. UNU-EHS and the Alliance Development Works/Bündnis Entwicklung Hilft.

Васильев М.П., Петерс А.А., Оценка погодно-климатических рисков для секторов экономики и социальной сферы на региональном уровне (на примере Краснодарского края). // Труды ГГО. № 586. 2017. Стр. 34-65.

РД 52.04.563 – 2013. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями. Росгидромет. 49 стр.

Тюсов Г.А. Оценка наблюдаемых и ожидаемых к середине XXI века климатических изменений на водосборах крупных водохранилищ ГЭС России//Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 4. С. 60-71.

The weather and climate related risks for economy and social sphere of the Nizhny Novgorod Region

Peters A.A., Vasilev M.P., Tyusov G.A.
Voeikov Main Geophysical Observatory
peters.ana@mail.ru

Abstract: The study presents the assessment methodology of the economic and social risks associated with the dangerous hydrometeorological events. The input data include meteorological and socio-economic indicators. By applying this approach the basic climate risks in the municipal units of the Nizhny Novgorod Region were identified, impact of current and future climate change on the risk value was analyzed, relevant adaptation measures were considered.

Keywords: dangerous hydrometeorological events, weather and climate related risks, adaptation, economic and social risk, climate change in the Nizhny Novgorod Region.

Приращение годового и сезонного стока нитратного азота по р. Великой в пределах г. Псков

***Петрова Н.Н.*[1], *Шелутко В.А.*[1,2]**
[1]*Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург*
[2]*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург*
NatashaNira2012@yandex.ru

Аннотация: Целью работы является оценка влияния г. Пскова на содержание соединений азота в реке Великой. Для достижения поставленной цели в работе оценивались средние годовые концентрации и объемы годового стока нитратного азота в верхнем и нижнем створе г. Пскова и его приращение и их приращение на этом участке в верхнем и нижнем створе, также был произведен анализ объема стока.

Для определения вероятности превышения ПДК по азоту нитратному, были построены эмпирическая и теоретическая кривая обеспеченности Пирсона III типа при Cs=2Cv на клетчатке вероятности для всех рядов наблюдений. Была произведена оценка однородности гидрологической информации. Для восстановления пропусков в рядах наблюдений использовалась связь между верхним и нижним постами.

Основные выводы по работе: 1) вероятность превышения ПДК менее 0,01%, поэтому средние годовые концентрации нитратного азота не представляют опасности для г. Пскова; 2) В ряде случаев измеренные и среднегодовые концентрации нитратного азота в верхнем створе выше, чем концентрации нитратного азота в нижнем створе на выходе из города; 3) в период с 1990-х годов по 2000-х года анализ динамики объема стока показал снижение; 4) влияние г. Пскова на содержание нитратного азота в р. Великая незначительно.

Ключевые слова: река Великая, азот нитратный, годовой сток

Введение

В современном мире одной из актуальных проблем является распространение поллютантов на большие расстояния, поэтому оценить степень загрязнения реки и объем выноса в Псковско-Чудское озеро биогенных элементов, в т.ч. соединения азота, необходимо для оценки вклада реки Великая в общее загрязнение озера.

В качестве объекта исследования выбрана река Великая. Это обусловлено тем, что река Великая является крупнейшей рекой, впадающей в Псковско-Чудское озеро.

Цель работы: оценка влияния г. Пскова на содержание соединений азота в реке Великой.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- Оценка годового стока нитратного азота в верхнем и нижнем створе р. Великой в пределах г. Пскова за весь период наблюдений;
- Оценка приращений годового стока нитратного азота на рассматриваемом участке;
- Проанализировать объем стока нитратного азота за год.

Материалы и методы

Для исследования были использованы данные наблюдений за концентрациями нитратного азота и расходами воды на р. Великая в пределах г. Пскова за период с 1967 г. по 2001 г. Данные предоставлены северо-западным межрегиональным территориальным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС).

Описание исходных данных: Верхний створ расположен выше г. Пскова в 29,6 км от устья реки, нижний створ ниже г. Пскова в 4,1 км от устья реки.

В данных по расходам воды были пропуски в верхнем створе. Пропущенные данные восстановлены по уравнению регрессии (r=0,99). В ходе работы были построены и проанализированы календарные графики измеренных и среднегодовых концентраций во времени, их приращения, а также график динамики объема стока.

Исходные ряды были проверены на однородность по математическому ожиданию и дисперсии. Гипотеза об однородности данных по верхнему и нижнему створу не опровергается. Чтобы определить вероятность превышения ПДК по азоту нитратному, были построены эмпирическая и теоретическая кривая обеспеченности Пирсона III типа при Cs=2Cv на клетчатке вероятности для всех рядов наблюдений.

В работе был построен хронологический график измеренных концентраций нитратного азота. Наименьшее значение измеренных концентраций для верхнего створа 0,008 мг/л 17.08.1981, наибольшее 2,5 мг/л 02.02.1993. Наименьшее значение измеренных концентраций для нижнего створа 0,01 мг/л 01.09.1970, наибольшее 2 мг/л 22.11.1967. В ряде случаев измеренные концентрации нитратного азота в верхнем створе выше, чем концентрации нитратного азота в нижнем створе. Вероятность превышения ПДК менее 0,01%.

Наименьшее значение среднегодовых концентраций для верхнего створа 0,03 мг/л в 1999 г., наибольшее 1,01 мг/л в 1987 г. Наименьшее значение среднегодовых концентраций для нижнего створа 0,06 мг/л в 1999 г., наибольшее 1,1 мг/л в 1967 г. В ряде случаев среднегодовые концентрации нитратного азота в верхнем створе выше, чем концентрации нитратного азота в нижнем створе. Вероятность превышения ПДК менее 0,01%.

Диапазоны концентраций по фазам водного режима в период с 1967 по 2001 гг.:

- верхний створ: летняя межень – от 0,001 до 0,7 мг/л; зимняя межень – от 0,1 до 2,5 мг/л; весеннее половодье – от 0,04 до 1,37 мг/л; осенние паводки – от 0,01 до 1,5 мг/л.
- нижний створ: летняя межень – от 0,048 до 0,9 мг/л; зимняя межень – от 0,04 до 2 мг/л; весеннее половодье – от 0,03 до 1,96 мг/л; осенние паводки – от 0,01 до 2 мг/л

Анализ динамики объема стока нитратного азота показал снижение значений в период с 1990-х годов до 2000-х годов. Подобная тенденция может быть обусловлена неблагоприятной экономической ситуацией в России в этот период времени, что в свою очередь привело к падению производства и сельского хозяйства.

Наибольшее значение объема стока для верхнего створа 31,1 т/год в 1981 г., наименьшее 0,1 т/год в 1999 г. Наибольшее значение среднегодовых концентраций для нижнего створа 35,7 т/год в 1985 г., наименьшее 0,1 т/год в 1999 г.

Результаты

В результате анализа материалов наблюдений получены следующие выводы:

- Измеренные концентрации нитратного азота находятся в пределах от 0 до 2,5 мг/л. Среднегодовые концентрации нитратного азота находятся в пределах от 0 до 1,1 мг/л. Вероятность превышения ПДК менее 0,01%, поэтому средние годовые концентрации нитратного азота не представляют опасности для г. Пскова.
- В ряде случаев измеренные и среднегодовые концентрации нитратного азота в верхнем створе выше, чем концентрации нитратного азота в нижнем створе на выходе из города. Скорее всего это объясняется погрешностями измерения концентраций.
- Анализ динамики объема стока нитратного азота показал снижение его значений в период с 1990-х годов по 2000-х годов. Подобная тенденция, скорее всего, может быть обусловлена неблагоприятной экономической ситуацией в России в этот период времени, что в свою очередь привело к падению производства и сельского хозяйства.
- Влияние г. Псков на содержание нитратного азота в реке Великая незначительно.

Список литературы

Шелутко В.А., Колесникова Е.В., Смыжова Е.С. Проблемы анализа загрязнения речного стока на основе гидрохимических наблюдений. // Сборник тезисов 8 Международного экологического форума «День Балтийского моря» (21-23 марта 2007 г.). – СПб, 2007. с. 327-328.

Шелутко В. А. Численные методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991, 238 с.

Increase of the annual and seasonal flow of nitrate nitrogen by the River. Velikaya in the vicinity of Pskov

***Petrova N.N.*[1], *Shelutko V.A.*[1,2]**

[1]*Russian State Hydrometeorological University*

[2]*Saint Petersburg State University*

NatashaNira2012@yandex.ru

Abstract: The aim of the work is to assess the influence of Mr. Pskov on the content of nitrogen compounds in the Velikaya River. To achieve this goal, the work estimated the average annual concentrations and volumes of annual runoff of nitrate nitrogen in the upper and lower reaches of the city of Pskov and its increment and their increment in this section in the upper and lower range, and the volume of runoff was also analyzed.

To determine the probability of exceeding the MPC for nitrogen nitrate, an empirical and theoretical Pearson type III security curve was constructed for Cs = 2Cv on the probability cell for all series of observations. The homogeneity of hydrological information was assessed. To restore the gaps in the series of observations, the connection between the upper and lower posts was used.

The main conclusions on the work: 1) the probability of exceeding the MPC is less than 0.01%, therefore, the average annual concentrations of nitrate nitrogen do not pose a threat to Pskov; 2) In a number of cases, the measured and average annual concentrations of nitrate nitrogen in the upper range are higher than the concentrations of nitrate nitrogen in the lower alignment at the exit from the city; 3) in the period from the 1990s to the 2000s, the analysis of the dynamics of runoff showed a decline; 4) influence of Mr. Pskov on the content of nitrate nitrogen in the river. Great is insignificant.

Keywords: river Velikaya, nitrate nitrogen, annual runoff

Органическое вещество в холодных водных экосистемах районов азотных термальных вод континентальной части Дальнего Востока, экологический аспект

Потурай В.А.
Институт комплексного анализа региональных проблем ИКАРП ДВО РАН, Биробиджан
poturay85@yandex.ru

Аннотация: Цель исследования – провести комплексное сравнение состава органических соединений в холодных водных экосистемах и выявить компоненты органической природы, указывающие на техногенное загрязнение изученных водных объектов. В пределах континентальной части Дальнего Востока расположены три крупных геотермальных месторождения (Кульдурское, Анненское и Тумнинское), которые питаются холодными подземными и поверхностными водами, распространенными в этих районах и, соответственно, являющимися потенциальными источниками загрязнения термальных вод, используемых для лечения людей. С другой стороны, холодные водные экосистемы, в отличие от гидротермальных экосистем, населены разнообразными сообществами живых организмов, которые широко распространенны в обычных холодных, пресных водоемах и подземных водах (тогда как в термальных водах обитают специфичные микроорганизмы, живущие в условиях высоких температур – термофилы). Эти обитатели поддерживают биотический круговорот органического вещества в холодных водных экосистемах, который, вероятно, отличается от круговорота органического вещества в термальных водах. С этой позиции также является актуальным рассмотреть состав органических соединений, которые формируют биотический круговорот органического вещества в холодных водах. В качестве объектов исследования выбраны три скважины, вскрывающие холодные подземные воды (скважины № 10-1 и 10-4 района Кульдурского термального поля и скважина № 30-460 района Анненского термального поля) и три поверхностных водотока (р. Кульдур, питающая Кульдурские термальные воды, руч. Амурчик Анненского района и руч. Чопэ района Тумнинских термальных вод). Хроматомасс-спектрометрическим методом установлено 75 компонентов органической природы, относящихся к 15 гомологическим рядам. Наибольшего распространения здесь достигают ряды биогенного происхождения – терпены, стероиды, карбоновые кислоты, их эфиры и альдегиды. Также были зарегистрированы соединения средней летучести, которые можно расценивать как техногенные, однако, эти соединения встречаются крайне редко и их относительные содержания не превышают 5 %.

Ключевые слова: органическое вещество, биотический круговорот, холодные воды, термальные воды, генезис.

Введение

Континентальная часть юга Дальнего Востока характеризуется многочисленными проявлениями термальных вод, преимущественно азотного газового состава. Их формирование, как правило, обусловлено нормальным или «платформенным» геотермическим режимом. Наиболее мощные и высокотемпературные азотные термальные воды здесь – Кульдурские (температура 73ºС, дебит около 2000 м^3/сут), Анненские (температура 54ºС, дебит до 650 м^3/сут) и Тумнинские источники (температура 46ºС, дебит до 700 м^3/сут). Это типичные напорные трещинно-жильные воды, опускающиеся по разломам и трещинам на большие глубины земной коры (до 3 км), нагревающиеся за счет термоградиента и поднимающиеся обратно к поверхности. За время движения по разломам вода контактирует с водовмещающими породами,

приобретая специфический, зачастую лечебный, химический состав. На базе этих термальных полей действуют различные санатории и бальнеолечебницы, т.о. термальная вода используется для лечения людей, поэтому очень важным является определение химического состава этих источников и выявление возможного загрязнения. Изучение вышеперечисленных геотермальных месторождений проводилось и проводится многими исследователями. В основном исследуются общий ионный, газовый, микроэлементный составы, определяются различные изотопные характеристики и редкоземельные элементы (Барабанов и Дислер, 1968; Чудаев и др., 2008; Архипов, 2009; Брагин и Челноков, 2009; Кулаков и Сидоренко, 2017). Также нашей группой проводится изучение общего углерода органического и органических соединений средней летучести (Потурай, 2017; Компаниченко и Потурай, 2015a; Компаниченко и Потурай, 2015b; Потурай, 2014; Компаниченко и др., 2009). Кроме этого, гидротермальные системы являются еще и специфичными гидротермальными экосистемами. Вследствие высокой температуры воды здесь способны жить далеко не все обычные обитатели холодных подземных вод. С другой стороны высокая температура необходима термофильным микроорганизмам, населяющим гидротермальные экосистемы. Сообщества термофильных микроорганизмов запускают и поддерживают биотический круговорот органического вещества в термальных водах, который обладает своими характерными чертами. Кроме этого, гидротермальные экосистемы питаются инфильтрационными водами, в роли которых выступают холодные подземные и поверхностные воды и атмосферные осадки. Эти водотоки также являются водными экосистемами, со своими обитателями и своим биотическим круговоротом органического вещества. Этот круговорот, однако, не может не оказывать влияние на органическое вещество термальных вод, которые питаются этими холодными водами. Кроме этого, холодные воды и соединения, которые в них содержатся, могут быть источником загрязнения термальных вод, поэтому очень важно проводить мониторинг химического состава и своевременно выявлять соединения – индикаторы техногенного загрязнения. Химический состав, в т.ч. и состав органического вещества холодных водных экосистем районов азотных термальных вод Дальнего Востока уже изучался нашей группой (Потурай, 2016, 2015, 2013, 2010). Однако комплексного сравнения установленных органических соединений и выявления соединений и групп соединений, указывающих на техногенное загрязнение холодных подземных и поверхностных вод, питающих три крупных геотермальных месторождения континентальной части юга Дальнего Востока, проведено не было, что и явилось целью настоящего исследования.

Объекты и методы

В качестве объектов исследования выбраны холодные подземные воды, вскрываемые скважинами № 10-1 и 10-4 района Кульдурского геотермального месторождения (ЕАО), № 30-460 района Анненских термальных вод (Хабаровский край), а также холодные поверхностные водотоки – р. Кульдур (Кульдурское термальное поле), руч. Амурчик (Анненское термальное поле) и руч. Чопэ (Тумнинское термальное поле, Хабаровский край).

Скважины № 10-1 и 10-4, р. Кульдур. Скважины п. Кульдур № 10-1 и № 10-4 глубиной 53 и 25 м соответственно располагаются в 500 м западней Кульдурского геотермального месторождения. Литология района представлена преимущественно гранитами палеозойского возраста. Вода слабоминерализованная, нейтральная, гидрокарбонатная кальциево-натриевая (Потурай, 2013, 2010). Река Кульдур является левым притоком р. Бира, относится к горному типу и берет начало на южных склонах хребта Малый Хинган. Общая протяженность р. Кульдур – 64 км, общая площадь водосбора 1110 кв. км. Почти весь водосбор р. Кульдур расположен на высоте 450 м,

только южная его окраина располагается в зоне высот 250-300 м. Ширина русла реки в черте поселка Кульдур составляет 8-10 м, выше поселка сужается до 5-7 м. Питание реки происходит за счет атмосферных осадков и поверхностного стока. Наибольшие уровни воды наблюдаются в период обильных осадков. Кульдурские термальные источники приурочены к правобережной части долины реки. Воды р. Кульдур слабоминерализованные нейтральные гидрокарбонатные кальциево-натриевые (Потурай, 2010).

Скважина № 30-460 и руч. Амурчик. Скважина № 30-460 с. Анненские минеральные воды располагается в 600 м северо-западнее от Анненского геотермального месторождения и имеет глубину 90 м. Водовмещающими породами являются вулканогенно-осадочные отложения. Инфраструктура села находится ниже по течению руч. Амурчик. Вода слабоминерализованная и слабощелочная (Потурай, 2017, 2016). Ручей Амурчик протекает в Хабаровском крае и является правым притоком р. Холодный Ключ, впадающей в озеро Гавань, которое протокой сообщается с р. Амур. Ручей имеет типично горный характер. Длина его 4.6 км. Основное направление течения с северо-северо-запада на юг-юго-восток. Глубина его русла колеблется от 0.05 до 0.3 м. Ширина долины ручья по дну изменяется от 50 до 100 м. Выходы терм Анненского месторождения располагаются на левом берегу ручья (Потурай, 2015).

Руч. Чопэ. Ручей Чопэ это горный ручей, правый приток р. Тумнин. Длина ручья около 12 км. Основное направление течения с запада северо-запада на восток юго-восток. Формируется ручей в пределах горы Айча. Ширина русла небольшая и колеблется в пределах от 0.5 до 5 м. Абсолютная отметка в районе выхода терм 241 м. Тумнинское геотермальное месторождение располагается на левом берегу ручья (Потурай, 2014).

Методика проведения исследования. Пробы воды отбирались непосредственно из самих скважин и выше по течению реки термального поля и инфраструктуры поселка в посуду из темного стекла, предварительно промытую хромовой смесью и дистиллированной водой. До анализа в лаборатории пробы хранились в темном холодном месте не более двух суток с момента отбора. Концентрирование органических соединений проводили методом твердофазной экстракции в лаборатории Хабаровского краевого центра экологического мониторинга и прогнозирования ЧС. Качественный анализ органических соединений осуществляли методом капиллярной газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией на газовом хроматомасс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 ultra в лаборатории ИКАРП ДВО РАН (аналитик – В.А. Потурай) и Shimadzu GCMS-QP2010S в лабораторий Хабаровского краевого центра экологического мониторинга и прогнозирования ЧС (аналитик – В.Л. Рапопорт). Подробно используемая методика описана в работах (Потурай, 2017, 2016, 2015, 2014). Были получены хроматограммы по общему ионному току (ОИТ), по которым идентифицировались органические соединения. Для каждого соединения была рассчитана доля в процентах. Сумма всех соединений, установленных в пробе, равнялась 100%. На хроматограммах также присутствовали пики, характеризующие незначительный унос фазы из колонки, определенные по m/z 73, 207, 281. Эти пики не интегрировались.

Результаты

В поверхностных водотоках районов геотермальных месторождений ДВ были установлены 62 органических соединения, принадлежащие 11 гомологическим рядам (рис. 1). Наибольшего распространения в поверхностных водах достигают стероиды. Это компоненты явно биогенного происхождения, которые широко распространены в животном мире (Degens, 1965; Hunt, 1979). Кроме этого, в значительных относительных концентрациях установлены альдегиды, карбоновые кислоты, эфиры и терпены. Они также могут синтезироваться живыми организмами и поступили в холодные воды в результате их жизнедеятельности либо деструкции. На это указывает и присутствие преимущественно четных карбоновых кислот и альдегидов (содержащих четное число

атомов углерода в молекуле). Ароматические углеводороды, установленные в воде р. Кульдур и руч. Чопэ, могли поступить в воды в результате смыва с почв. Обращает на себя внимание присутствие изобутиратов в р. Кульдур и руч. Чопэ. Эти соединения применяются в качестве антиокислителей в пищевой промышленности, пластмассах и могут служить индикаторами загрязнения этих вод. Однако относительные концентрации их невелики (до 1%).

В холодных подземных водах установлены 64 органических соединения, которые принадлежат 12 гомологическим рядам. Характерными компонентами являются алканы, которые занимают от 11 до 22 %. В Кульдурских водах наблюдается доминирования сквалена биогенного происхождения, доля которого превышает 25 % в скважине № 10-1 и достигает 83 % в скважине № 10-4. Хиноны также относятся к компонентам, которые синтезируются в живом мире. Они образуются из лигнина – составной части растений.

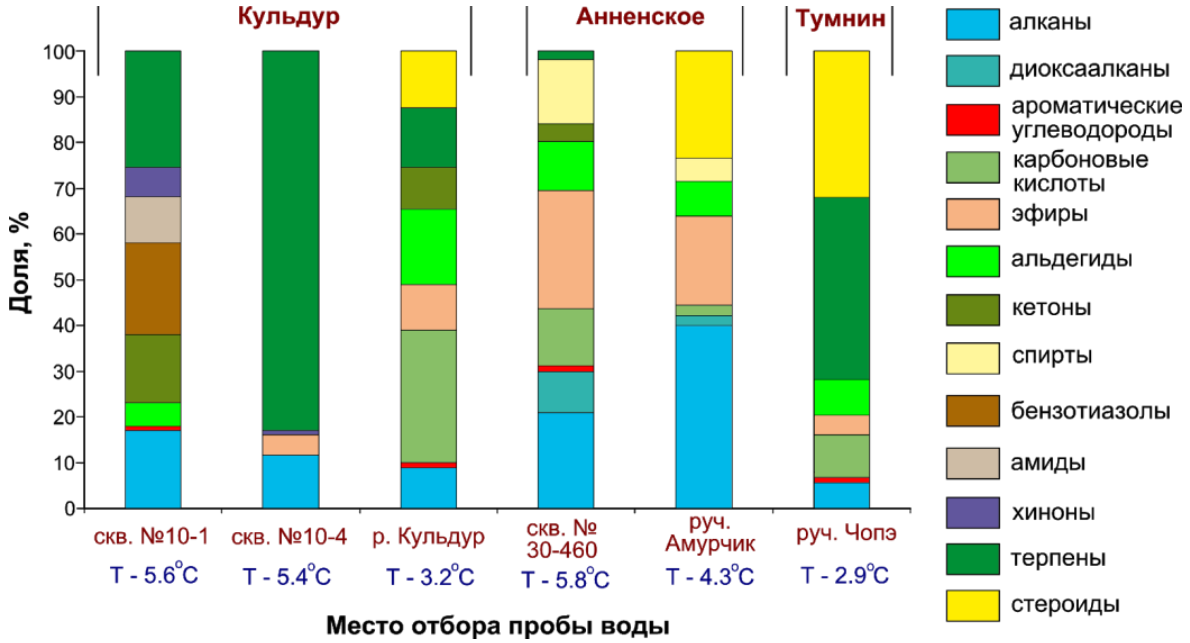


Рис. 1. Гомологические ряды органических соединений в холодных водах термальных полей континентальной части юга Дальнего Востока. Ряды, занимающие менее 3 %, не отображены.

Значительное относительное содержание в Кульдурских холодных водах наблюдается у бензотиазолов – компонентов биогенного происхождения. Кетоны, как правило, тоже являются биогенными компонентами, однако, в Кульдурских водах установлен 7,9-ди-третбутил-1-оксаспиро(4,5)дека-6,9-диен-2,8-дион. Вещества, в молекулу которых входит трет-бутильная группа, по-видимому, имеют техногенное происхождение, так как эта группа редко встречается в природных соединениях. Для холодных подземных вод Анненского района характерны карбоновые кислоты, их эфиры и альдегиды. Причем наблюдается преобладание четных гомологов над нечетными. Спирты также биогенного происхождения. Следует отметить, что терпены, хиноны и амиды, характерные для холодных вод Кульдурского района, здесь практически отсутствуют. При этом установлен хлорбензол, который является своего рода индикатором антропогенного загрязнения, поскольку он не синтезируется в живых организмах. Вероятно, хлорбензол здесь имеет техногенное происхождение.

Выводы

Таким образом, в холодных водных экосистемах районов геотермальных месторождений континентальной части юга Дальнего Востока установлено 75 компонентов органической природы, относящиеся к 15 гомологическим рядам. Наибольшего распространения здесь достигают ряды биогенного происхождения – терпены, стероиды, карбоновые кислоты, их эфиры и альдегиды. Также были зарегистрированы соединения, которые можно расценивать как техногенные, однако, эти случаи единичные и их относительные содержания не превышают 5 %.

Список литературы

Архипов Б.С. Химический состав и металлоносность термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня // *Тихоокеанская геология*, № 4., 28, 2009: 116–122.

Барабанов Л.Н., Дислер В.Н. Азотные термы СССР – М.: «Геоминвод», 1968: 119 с.

Брагин И.В., Челноков Г.А. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня. Газовый аспект // *Вестник ДВО РАН*, № 4, 2009: 147–151.

Компаниченко В.Н., Потурай В.А. Вариации состава органического вещества в водах Кульдурского геотермального месторождения // *Тихоокеанская геология*, № 4., 34, 2015: 96–107.

Компаниченко В.Н., Потурай В.А. Гидрогеохимическая зональность и эволюция состава Кульдурских терм (Дальний Восток) // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*, № 6, 2015: 521–534.

Компаниченко В.Н., Потурай В.А., Рапопорт В.Л. Особенности химического состава вод Кульдурского термального поля // *Региональные проблемы*, № 12, 2009: 20–25.

Кулаков В.В., Сидоренко С.В. Минеральные воды и лечебные грязи Приамурья – Хабаровск: Изд-во ДВГМУ, 2017: 474 с.

Потурай В.А. Органическое вещество в поверхностных водах районов геотермальных месторождений Дальнего Востока (экологический аспект) // *Региональные проблемы*, № 2., 18, 2015: 57–62.

Потурай В.А. Органическое вещество в подземных и поверхностных водах района Анненского геотермального месторождения (Дальний Восток) // *Геохимия*, № 4, 2017: 372–380.

Потурай В.А. Органическое вещество в подземных и поверхностных водах района Кульдурского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, № 1 (21), 2013: 169–182.

Потурай В.А. Органическое вещество в термальных и поверхностных водах района Тумнинского месторождения термальных вод, Дальний Восток России // *Известия ТПУ*, № 3., 324, 2014: 44–52.

Потурай В.А. Органическое вещество в холодных подземных водах районов азотных терм Приамурья // *Региональные проблемы*, № 4., 19, 2016: 59–66.

Потурай В. А. Сравнение химического состава термальных, сточных и грунтовых вод Кульдурского района // *Региональные проблемы*, № 2., 13, 2010: 92–96.

Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня // *Тихоокеанская геология*, № 6., 27, 2008: 73–81.

Degens Egon T. Geochemistry of sediments: a brief survey –New Jersey: Prentice-Hall, 1965: 342 p.

Hunt J.M. Petroleum geochemistry and geology – San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979: 617 p.

Organic matter in cold water ecosystems of areas nitrogen thermal water in the continental part of the Far East, the ecological aspect

Poturay V.A.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems, ICARP FEB RAS, Birobidzhan
poturay85@yandex.ru

Abstract: The purpose of the study is to carry out a complex comparison of the composition of organic compounds in cold waters and to identify organic substances indicative of technogenic pollution of the studied water bodies. In the continental part of the Far East, there are three large geothermal deposits - Kuldur, Annenskoe and Tumnin. They feed on cold underground and surface waters, which are potential sources of pollution of thermal waters. Cold water ecosystems are inhabited by diverse communities of living organisms that are widespread in cold, fresh water bodies and underground waters. In the thermal waters, microorganisms living in high-temperature conditions-thermophils-are more specific. These inhabitants start and maintain the biotic circulation of organic matter in cold aquatic ecosystems, which probably differs from the biotic circulation of organic matter in thermal waters. From this position, it is also relevant to consider the composition of organic matter, which forms a biotic circulation of organic matter in cold waters. Three wells were discovered to explore the cold groundwaters (wells No. 10-1 and 10-4 of the Kuldur thermal field and well No. 30-460 of the Annenskiy thermal field) and three surface watercourses (the Kuldur River feeding the Kuldur thermal waters, Amurchik River, Annenskiy District and Chope River, Tumnin District of thermal waters). Chromatomass-spectrometric method established 75 components of organic nature, referring to 15 homologous series. The most widespread here reach the series of biogenic origin - terpenes, steroids, carboxylic acids, ethers and aldehydes. Also, compounds of medium volatility were recorded, which can be regarded as man-made, however, these compounds are extremely rare and their relative contents do not exceed 5%.

Keywords: organic matter, biotic circulation, cold water, thermal waters, genesis.

Гидролого-экологические проблемы использования природных ресурсов Придунайских озер Украины

***Романова Е.А.*[1], *Шакирзанова Ж.Р.*[2]**
[1]*Одесское областное управление водных ресурсов, Одесса*
[2]*Одесский государственный экологический университет, Одесса*
Lisaromanova@ukr.net

Аннотация: В украинской дельте реки Дунай расположена группа пойменных озер, таких как: Кагул, Картал, Ялпуг и Кугурлуй, Сафьян, Катлабух и Китай. С 50-х годов прошлого века путем строительства защитных дамб и регулирующих шлюзов Придунайские озера превратились в водохранилища для их водохозяйственного использования. В 90-х годах в связи с сокращением масштабов орошения земель, водообмен в озерах значительно ослабился, что привело ухудшению качества воды и экологического состояния прилегающих территорий.

Цель работы заключается в определении основных гидролого-экологических проблем рационального использования природных ресурсов и функционирования Придунайских озер (на примере озера Катлабух), путей их возможного решения по снижению минерализации и улучшению качества воды. С целью рационального использования водных ресурсов озера в работе использовался метод водного и солевого балансов.

В результате расчетов получено, что приходную часть водных балансов за 1999 - 2015 гг. в наибольшей степени определяют осадки на водную поверхность озера и поступления воды из р.Дунай, а в расходной – испарение вместе с транспирацией водной растительностью.

Установлено, что ежегодное поступление солей, которые приносятся речным стоком и грунтовыми водами, составляет от 2 до 3 тыс. тонн. Нарушение процессов водообмена озера по данным мониторинга, привели к накоплению солей и ухудшению качества воды: в северной части до 3 г / дм^3, в центральной - до 1,6 г / дм^3, в южной - до 0,90 г / дм^3.

Для улучшения качества воды в озере необходимо увеличить объемы наполнения их Дунайской водой. При выборе технического решения по возвращению озера близкой к естественной связи с р. Дунай, учитывалась также и положительная роль одамбования, которое защищает экосистему от возможных загрязнений, поступающих с верховьев Дуная.

Ключевые слова: водообмен, минерализация, водный и солевой балансы, режим функционирования водоемов

Введение

В пределах Одесской области Украины, в нижнем течении реки Дунай расположена группа пойменных озер, наибольшими из которых являются Кагул, Картал, Ялпуг с Кугурлуем, Катлабух и Китай. Главным источником водообмена этих озер является р. Дунай. До 60-х годов прошлого столетия водообмен осуществлялся через природные протоки, которые соединяли озера с рекой, путем поступления и срабатывания воды в зависимости от уровней воды в Дунае. Таким образом, динамика воды в водоемах отвечала их динамике в реке Дунай.

В начале 50-х годов Придунайские озера превратились в водохранилища с соблюдением необходимого режима срабатывания и наполнения их в течение года при строительстве защитных дамб и регулирующих сооружений – шлюзов. С интенсификацией в 60-х годах сельского хозяйства водосборы рек испытывают значительную антропогенную нагрузку. Значительно претерпели изменения водность малых рек, впадающих в Придунайские озера. Распашка и вырубка лесов, расчистка рек,

зарегулирование стока привели к снижению водности, увеличению испарения с водной поверхности и, соответственно, к ухудшению качества воды рек и самих водоемов (Правила, 2000, Озеро Катлабух, 2000).

В связи с этим актуальным при решении целого ряда проблем, связанных с возобновлением рационального использования природных ресурсов Придунайских озер является анализ составных водного и солевого балансов, разработка модели водно-солевого режимов в современных условиях. Еще одной важной задачей является разработка рекомендаций, направленных на возобновление оптимальных режимов функционирования водоемов, учитывая возможные экономические и технические мероприятия.

Материалы и методы

Для того чтобы обоснованно решать вопрос, связанный с возобновлением, а в дальнейшем и поддержкой благоприятных условий функционирования Придунайских озер, необходимо рассмотреть, прежде всего, их водный и солевой балансы (Гушля и др., 1982).

Методические подходы к расчету водного баланса водоема заключаются в определении составляющих приходной и расходной его частей. В общем виде уравнение водного баланса записывается как (Гопченко и др., 2016)

$$\left(\sum V_i\right)_{np} - \left(\sum V_i\right)_{pacx} = V_{Pi} + V_{ri} + V_{bi} + V_{gi} + V_{dri} + V_{Di} - \\ - V_{Ei} - V_{tri} - V_{fi} - V_{zi} - V_{Di}' - V_{ozi}, \quad (1)$$

К приходной части водных балансов $(\sum V)_{np}$ относятся следующие составляющие (для *i*-го расчетного месяца), в млн. м^3. Атмосферные осадки V_P - принимаются по данным измерений в пунктах Болград и Измаил. С помощью этих материалов, при ранжировании годовых сумм осадков по убыванию, были рассчитаны обеспеченности осадков по формуле

$$P_p = m/(n+1)*100\% \quad (2)$$

и построена кривая их обеспеченности.

В (2): *m* – порядковый номер членов убывающего ряда; *n* – общая продолжительность ряда.

Месячные объемы осадков, которые поступают в озера определяются следующим образом:

$$V_P = P \cdot F_з / 10^3, \quad (3)$$

где P - количество осадков, мм; $F_з$ – площадь водного зеркала (км^2), которая отвечает среднемесячному уровню воды в озерах $H_{ср}$ (м БС).

Речной сток V_r - поступление воды в озеро во время весеннего половодья и дождевых паводков по рекам, которые питают озера. По нормативному документу СНиП 2.01.14-83 (Пособие, 1984) для расчета стока при отсутствии систематических его измерений были использованы карты среднего годового стока рек (л/с·км^2) и коэффициентов вариации, построенные в масштабе 1:10 000 000. Средние многолетние значения годового стока по картам устанавливаются для геометрических центров водосборов путем линейной интерполяции между изолиниями стока и рассчитываются по формуле

$$\overline{Q} = \frac{\overline{q} \cdot F}{10^3}, \quad (4)$$

где $\overline{Q}$ – средний многолетний расход воды, м^3/с; $\overline{q}$ – норма годового стока, л/с·км^2; F – площадь водосбора, км^2.

Систематические гидрологические наблюдения в бассейнах Придунайских озер не проводятся. Поэтому стоковые характеристики, включая и внутригодовое его распределение, непосредственно определить невозможно. В гидрологической практике решение подобных задач осуществляется с помощью рек-аналогов, по которым накоплены многолетние ряды наблюдений. В частности, в качестве аналога нами использована р.Тараклия-с.Тараклия (левый приток р.Ялпуг). Речной сток Q_r с площади водосборов малых рек определялся с учетом обеспеченности водности года по формуле

$$Q_r = k_{p\%} \cdot \overline{Q}, \quad (5)$$

где $k_{p\%}$ - коэффициент, который учитывает обеспеченность года вероятностью *p* %.

Считалось, что обеспеченность годового стока равна обеспеченности годовых осадков.

Объем поступления годового стока небольших рек V_r (млн. м^3) рассчитывался по выражению

$$V_r = Q_r \cdot 86400 \cdot 365 / 10^5, \quad (6)$$

где 86400 – количество секунд в одних сутках; 365 – количество суток в году.

Боковой приток V_b поверхностных вод с прилегающей к озеру территории определен как

$$V_b = 0{,}23 * V_r, \quad (7)$$

где V_b – боковой приток; V_r – речной сток.

Соотношение между V_r и V_b было установлено во время выполнения проекта Tasis-2001 на оз. Кугурлуй-Ялпуг и использовано для других озер территории.

Приток грунтовых вод V_g рассчитывался по формуле А.Н.Бефани (Бефани, 1958)

$$Y_{гр} = u_0 th\left[a_г \varepsilon \sqrt{\frac{F}{F_{1_{кр}}} - 1}\right], \quad (8)$$

где $Y_{гр}$ - слой стока грунтового притока вод; u_0 – норма инфильтрации, которая по данным В.Г.Сорокина (Сорокин, 1974) для Придунайского региона составляет 2,5 мм; $a_г$ – гидрогеологический параметр, числовое значение которого можно принять на уровне 0,20; ε – параметр, который определяет интенсивность дренирования водоносных горизонтов и составляет 0,25; $F_{1кр}$ – начальная площадь истока рек, которая на юге Украины составляет 60 км^2.

Поступление дренажных и коммунально-бытовых вод V_{dr} - приняты по нормативу Одесского областного управления водных ресурсов, что составляет 20% от забора воды на орошение (вместе с другими видами водопользования).

Сток р. Дунай V_D - непосредственных данных об объемах воды, поступающих из р. Дунай в водоемы нет, поэтому они были вычислены обратным путем из уравнения водного баланса. В этом случае расчеты будут включать и невязку баланса.

К расходным составляющим водного баланса $(\sum V)_{расх}$ относятся (для *i*-го расчетного месяца), в млн. м^3. Испарение с водной поверхности V_E - является не только главной составляющей расходной части водного баланса, но и всего баланса Придунайских озер. Объемы воды на испарение оценивались по данным метеостанции Болград.

Транспирация водной растительностью V_{tr} - в условиях дельты Дуная и Придунайских озер составляет значительную величину в расходной части водного баланса. Специальных исследований по транспирации с водной поверхности Придунайских озер не выполнялось. Испарение водной растительностью принято рассчитывать при помощи переходных коэффициентов в зависимости от зарастания водоемов. Нами проведена оценка поправочного коэффициента и принята для площади зарослей водной растительностью 30% и равна 1,14.

Фильтрация воды в берега V_f - в каждом отдельном случае определяется на основании специальных исследования при помощи натурных наблюдений или расчетными методами.

Режим эксплуатации озер характеризуется значительными колебаниями уровней воды в них. В частности, в фазе наполнения озер уровни воды в них могут расти до 1,0-1,3 м. При этом кривая дисперсии будет иметь направление в сторону берегов, благодаря чему происходит фильтрация воды в берега. При составлении водного баланса озер в Одесском управлении водных ресурсов принималась величина 28,8 млн. м^3 (или в среднем 2,4 млн. м^3 в месяц).

Суммарный забор воды V_z - забор воды из водохранилищ в летние месяцы выполняется для коммунально-бытового использования, потребностей рыборазведения, орошения (в расчетах они приняты по данным управления водных ресурсов).

Сбросы воды в р.Дунай $V_{D'}$ - непосредственных данных об объемах сбросов воды в водоемы нет, потому они были вычислены обратным путем из уравнения водного баланса. Величины включали и невязку в месяце, когда открыты шлюзы.

Поддержка уровней системы озер Лунг-Сафьян V_{oz} (для озера Катлабух) - измеряется в периоды открытия шлюзов на них. Заметим, что наполнение озер дунайской водой происходит до отметки, соответствующей нормальному подпертому уровню (НПУ) в них. При сбросах воды из озер в р. Дунай сработка водоемов регламентируется уровнем «мертвого» объема (УМО).

Опираясь на уравнение водного баланса можно записать уравнение солевого баланса в виде:

$$W_1 S_1 + V_P S_P + V_r S_r + V_b S_b + V_g S_g + V_{dr} S_{dr} + V_D S_D = \\ = W_2 S_2 + V_f S_f + V_z S_z + V_{D'} S_{D'} + V_{oz} S_{oz}, \quad (9)$$

где S_1 і S_2 – средняя по озеру минерализация в начале и в конце расчетного месяца;

S_p, S_r, S_b, S_g, S_{dr}, S_D, S_f, S_z, $S_{D`}$ – минерализация составляющих водного баланса.

Результаты

Приходную часть водных балансов за 1999 - 2015 гг. (на примере озера Катлабух) в наибольшей степени определяют осадки на водную поверхность озера (от 21 и до 58%) и поступление воды из р.Дунай (от 30 до 75%). Поверхностный сток также составляет значительный процент (речной от 1 и до 39%, боковой приток - от 1 и до 9%). Поступление грунтовых и дренажных вод незначительное (менее 6%).

В расходной части большинства водных балансов 1999 - 2015 гг. существенно испарение вместе с транспирацией водной растительностью (от 41 и до 74%), меньше сбросы воды в р. Дунай (от 9 до 36%), за исключением 2002, 2007, 2008, 2011, когда не было сбросов, заборы воды на орошение, рыборазведение, коммунально-бытовые нужды и пр. составили от 3 до 24%, объемы воды на фильтрацию – до 8,9%.

Результаты расчетов по формуле (9) показали, что приходную часть солевых балансов оз.Катлабух в 1999 - 2015 годах составляет поступление солей с поверхностным стоком

рек Большой Катлабух, Ташбунар и Еника (от 10 до 65%), поступление солей вместе с дунайской водой составляет от 10 до 62%, с осадками - 5,5 - 24%. Приток солей вместе с другими составляющими незначительный и составляет не более 10% (за исключением 2011).

Расходная часть обусловлена сбросами воды (вместе с солями) в Дунай (исключая 2002, 2007, 2008 2011 гг. когда не было сбросов), величины которых изменяются от 9% до 70%. Несколько меньше солей выводятся с водой на орошение (более 15%) и поддержку уровней воды в системе озер Лунг - Сафьян (4 - 41%). Расход солей с фильтрацией составляет от 12 до 42%.

Выводы

Установлено, что ежегодное поступление солей, которые приносятся речным стоком и грунтовыми водами, составляет от 2 до 3 тыс. тонн. Средняя минерализация в озере по проектным расчетам в условиях глубокого водообмена должна была колебаться от 1 до 1,47 г/дм^3. Нарушение процессов водообмена озера по данным мониторинга привели к накоплению солей и ухудшению качества воды: в северной части до 3 г/дм^3, в центральной - до 1,6 г/дм^3, в южной - до 0,90 г/дм^3.

Для улучшения качества воды в озере необходимо увеличить объемы наполнения их Дунайской водой. При выборе технического решения по возвращению озера близкой к естественной связи с р. Дунай, учитывалась также и положительная роль одамбования, которое защищает экосистему от возможных загрязнений, поступающих с верховьев Дуная.

Водно-солевые расчеты оз. Катлабух показали, что для поддержания средней минерализации от 1 - 1,6 г/дм^3 необходимо пропустить в пиковый период первой фазы половодья (апрель) по каналам в условиях года 75%-обеспеченности и минимального водозабора до 80 м^3/с или 71млн.м^3.

Список литературы

Правила експлуатації озера Катлабух: Південний науковий центр академії АН України, Регіональний науковий центр з водних проблем «Фобіус», 2000.

Озеро Катлабух: [Правила эксплуатации водохранилища/ Укрюжгипроводхоз]. – Одесса, 2000: 74.

Гушля А.В., Мезенцев В.С. Водно-балансовые исследования К.: Вища школа. Головное изд-во, 1982: 229 с.

Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р., Медведева Ю.С. Бурукова М.М. // Определение составляющих водных балансов озера Катлабух // Вестник ОГЭКУ, № 20, 2016: 52-61.

Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеоиздат, 1984: 447с.

Бефани А.Н. Основные положения теории речного стока. Тр.ОГМИ, вып.XII, 1958: 99-164.

Сорокин В.Г. Средний многолетний сток рек орошаемых регионов юга Европейской территории Союза. Метеорология, климатология и гидрология, вып.10, 1974: 121 – 129.

Hydrological and environmental problems of use of natural resources of the Danube lakes of Ukraine

***Romanova E.A.*[1], *Shakirzanova Zh.R.*[2]**
[1]*Odessa regional department of water resources, Odessa*
[2]*Odessa State Environmental University, Odessa*
Lisaromanova@ukr.net

Abstract: In the Ukrainian delta of the Danube River is a group of floodplain lakes, such as: Cahul, Kartal, Yalpug and Kugurluy, Safyan, Katlabukh and Chitai. Since the 50s of the last century, through the construction of protective dams and regulating locks, the Danube lakes have turned into reservoirs for their water management use. In the 1990s, due to the reduction in irrigation, the water exchange in the lakes significantly weakened, which led to a deterioration in the quality of water and the ecological condition of the surrounding areas.

The aim of the work is to identify the main hydrological and ecological problems of rational use of natural resources and the functioning of the Danube lakes (by the example of Lake Katlabukh), ways of their possible solution to reduce mineralization and improve water quality. In order to rationally use the lake's water resources, the method of water and salt balances was used in the work.

As a result of calculations it was received that the income part of water balances for 1999 - 2015. the precipitation on the lake's water surface and the water supply from the Danube River determine the greatest degree of precipitation, and evaporation along with transpiration with aquatic vegetation is in the expenditure one.

It is established that the annual supply of salts, which are brought by river runoff and groundwater, is from 2 to 3 thousand tons. Violation of lake water exchange processes according to monitoring data led to the accumulation of salts and deterioration of water quality: in the northern part to 3 g / dm^3, in the central part to 1,6 g / dm^3, in the southern part to 0,90 g / dm^3.

To improve the quality of water in the lake, it is necessary to increase the volumes of filling them with the Danube water. When choosing a technical solution for the return of the lake close to the natural connection with the river. The Danube also took into account the positive role of the ramming, which protects the ecosystem from possible pollution from the upper Danube.

Keywords: water exchange, mineralization, water and salt balances, regime of functioning of water bodies

Сульфаты (SO_4^{2-}) и хлориды (Cl^-) как показатели горнопромышленного загрязнения поверхностных вод (на примере Рыбницкого угольного района в Польше)

Романчук А.И.
Silesian University in Katowice, Departament of Physical Geography, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland
aleksy.romanczuk@gmail.com

Аннотация: В данной работе представлены результаты исследований лимнических экосистем в модельных объектах на территории Рыбницкого угольного района в Польше. Целью работы является определение негативного влияния техногенных отвалов угледобычи на качественные показатели засоления поверхностных вод. Для оценки техногенного воздействия на водные ресурсы Рыбницкого угольного района были выбраны два модельных породных отвала. Исследования включали в себя измерения электролитической проводимости, а также определение содержания сульфатов и хлоридов в сходных по своим морфогенетическим, морфометрическим и функциональным особенностям модельных объектах. Полевые исследования осуществлялись в период с марта 2016 г. по январь 2017 г. В лабораторных условиях был произведен анализ концентраций хлоридов и сульфатов в пробах поверхностных вод. Выявлено, что электролитическая проводимость варьировалась в диапазоне 7,4 мСм/см до 13,3 мСм/см в пунктах, расположенных на территории модельного объекта „Кнурув-Шчигловице". В районе модельного объекта „Пшув-Анна" – значения этого показателя изменялись в границах 3,86-17,81 мСм/см. Отмечено повышенное содержание сульфатов (SO_4^{2-}), а также хлоридов (Cl^-) в поверхностных водах. Содержания сульфатных ионов колебались в следующих пределах: 2513-6310 мг/л. Содержание хлоридов изменялось в пределах 720-2600 мг/л. В данной статье рассматривается один из аспектов влияния горнопромышленных отвалов, как очага загрязнения инфильтрационными и подотвальными водами, на физико-химическую трансформацию поверхностных вод. Содержание в поверхностных водах сульфатов и хлоридов можно считать хорошим показателем горнопромышленного загрязнения поверхностных вод.

Ключевые слова: засоление вод, сульфаты, хлориды, сточные воды, отвалы горных пород.

Введение

Влияние человеческого фактора на окружающую среду приводит к значительным изменениям ее отдельных компонентов. Наиболее уязвимым компонентом в экосистеме промышленных регионов является именно лимническая система. Разработка месторождений полезных ископаемых ведет к существенным изменениям рельефа, а также водного режима территорий. Преобразования водной среды характеризуются разнонаправленностью и включают в себя как количественные, так и качественные изменения (Jankowski, 1986). Особенно интенсивное преобразование водной экосистемы произошло в регионе Рыбницкого угольного района. Водоемы на данной территории функционируют в условиях дифференцированного антропогенного воздействия. Это определяет специфику лимнологических процессов и характеристик, свойственных для поверхностных вод, в том числе изменения их химического состава. Течение этих процессов, как и форма использования водоемов, находятся на протяжении последних десятилетий, под влиянием изменяющихся естественных и антропогенных факторов (Rzętała, 2008). Эффект негативного воздействия подземной добычи каменного угля на лимносистему связан прежде всего с процессом поверхностного складирования

отработанных горных пород, приводящего к возникновению антропогенных форм рельефа, а также деградацией качества поверхностных вод по соседству с отвалами (Горбунова и др., 1990).

Исследование этой проблематики в контексте данного региона в разное время нашло своё отражение в работах следующих авторов A.T. Jankowski (1986), S. Czaja (1999), R. Machowski и др. (2008).

Материалы и методы

Рыбницкий угольный район, считающийся наиболее преобразованным в антропогенном отношении регионом Польши, охватывает юго-западную часть Силезского воеводства. К наиболее старой зоне в истории развития данного региона можно отнести расположенные в его центральной части окрестности Рыбника, Пшова и Рыдултовых. Здесь расположены старейшие угольные шахты региона - действующая с 1806 г. шахта каменного угля „Рыдултовы" и шахта „Анна" в городе Пшув, разрабатываемая с 1856 г. (Jankowski, 1986).

В соответствии с физико-географическим районированием Польши (Kondracki, 1986), модельный объект „Кнурув-Шчигловице" (рис.1) расположен в макрорегионе Катовицкая возвышенность, которая входит в состав Силезской возвышенности. Модельный объект „Пшув-Анна" расположенный в границах г. Пшова (рис.1), относится к Рыбницкому Плоскогорью, которое является южным фрагментом Силезской Возвышенности (Klimaszewski, 1972).

Для оценки техногенного воздействия на водные ресурсы Рыбницкого угольного района были выбраны два модельных породных отвала. Пункты исследований были расположены таким образом, чтобы результаты отражали химический состав вод на разных участках гидросистемы, по мере удаления от очага загрязнения. Качественные показатели воды в пунктах отбора 1 и 4 – характеризуют химический состав подотвальных и инфильтрационных вод на выходе из тела техногенных отвалов „Кнурув-Шчигловице" и „Пшув-Анна". Показатели воды в пунктах отбора 3 и 5 отражают химический состав вод водоемов-реципиентов „Кнурув-Шчигловице" и „Чарны став" (пункт 5), принимающих дренажные и подотвальные воды, доставляемые водотоками. Показатели воды в пункте отбора 2 характеризуют химический состав воды в водном объекте, возникшем в результате просадок земной поверхности и расположенного у южной оконечности отвала „Кнурув-Шчигловице".

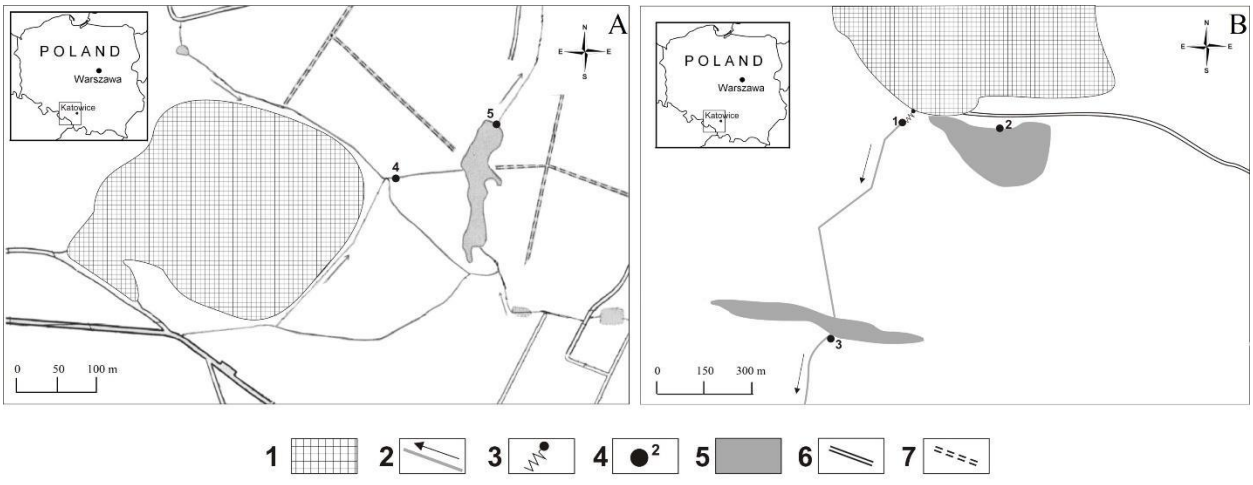


Рис. 1. Схема расположения модельных объектов „Пшув-Анна" (А) и „Кнурув-Шчигловице" (В):1 – техногенные отвалы 2 – водотоки, 3 – выход инфильтрационных и подотвальных вод, 4 –пункты отбора проб (с нумерацией), 5 – водоёмы, 6 – грунтовые дороги, 7 – лесные дороги

За весь период исследования, с февраля 2016 г. по январь 2017 г., было произведено в общей сложности десять серий отбора проб воды из пунктов, расположенных в модельных объектах. Непосредственно во время полевых исследований проводилось измерение электролитической проводимости, с помощью кондуктометра типа CC-315 производства Elmetron. Химические испытания образцов воды производились в химической лаборатории на Факультете Наук о Земле Силезского Университета в г. Сосновце. Определение содержания хлоридов, проводились с использованием ионоселективных электродов. Исследования сульфатов проводились турбодиметрическим методом при помощи спектрофотометра серии 2000 производства Cecil Instruments LTD. Измерения происходили при длине пучка света 440 нм. Все полученные данные были подвергнуты статистической обработке в соответствии с методикой, предложенной в исследованиях J.Runge (2000). Результаты были представлены в виде коробчатых диаграмм (*box-and-whiskers plots*), выполненных в программе Statistica 12 (Statsoft, 2012).

Результаты

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что на территории исследуемых модельных объектов находятся постоянные очаги горнопромышленного загрязнения гидросферы. К этим объектам относятся техногенные отвалы „Кнурув-Шчигловице" и „Пшув-Анна" (рис. 1). На деградацию водной экосистемы негативное влияние оказывают инфильтрационные и подотвальные воды. Количество и химический состав этих вод зависит прежде всего от типа и степени фрагментации отработанной породы, количества инфильтрационной воды, возраста отвала, а также способа складирования породы и ее рекультивации (Rosik-Dulewska, 2000). Иногда инфильтрат может иметь сконцентрированную форму и функционировать в течение всего года (Jankowski i in., 2002).

В рассматриваемых модельных объектах постоянный сконцентрированный выход инфильтрата функционирует в пункте 1 - отвал „Кнурув-Шчигловице" (рис. 1). Несколько иначе ситуация выглядит в пункте 4, на отвальном участке модельного объекта „Пшув-Анна", где сточные воды имеют характер линейных водотоков, располагающихся в дренажных канавах и окаймляющих тело отвала.

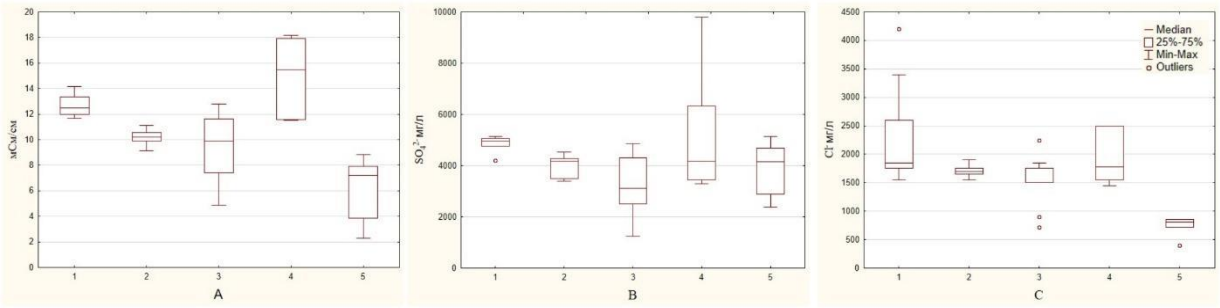


Рис.2. Распределение значений электропроводности (A), сульфатов (B) и хлоридов (C) 1 – отвал „Кнурув-Шчигловице", 2 – просадочный водоём, 3 – водоём „Кнурув-Шчигловице", 4 – отвал „Пшув-Анна", 5 – водоём „Чарны Став"

Как видно из данных, представленных на диаграмме размаха A (рис. 2), наибольшие значения электропроводности были зафиксированы в пунктах 1 (14,14 мСм/см) и 4 (18,18 мСм/см) с медианами соответственно 12,5 и 15,5 мСм/см. Коэффициенты вариаций (CV) для пунктов 1-4 были небольшими и варьировались в пределах 6%-27%. Наиболее низкой величиной электропроводности характеризовались поверхностные воды на выходе из водоёмов-реципиентов. Медианы для пунктов 3 и 5 составили соответственно 9,92 и 7,22 мСм/см. Это обусловлено прежде всего удалением от очага загрязнения, а также

разбавлением сточных вод на последующих участках, что в особенности видно по снижению величины минерализации в водоеме „Чарны Став" (пункт 5), имеющем естественный приток со средним показателем электропроводности 0,739 мкСм/см. Высоким показателем электропроводности характеризуются также воды в пункте 3, что объясняется его близким расположением к техногенному отвалу „Кнурув-Шчигловице" (пункт 1). Высокие значения электролитической проводимости сточных вод с отвалов обусловлены значительным содержанием в них сульфатов. Как указывают исследования J. Dojlido (1995) концентрация SO_4^{2-} в водах инфильтрата может достигать уровня 5000 мг/л.

Выщелачивание нагромождённых в отвале отработанных пород приводит к тому, что воды фильтрата показывают очень высокую концентрацию сульфатов. Их источником являются прежде всего пириты, поскольку анион S^{2-} в условиях увлажнения окисляется до SO_4^{2-} (Dojlido, 1995). Среднее содержание сульфатов в пунктах 1-3 варьировалось в границах 3116 мг/л - 4968 мг/л, а в пунктах 4-5 от 4151 мг/л до 4187 мг/л. Таким образом, загрязнение сульфатами поверхностных вод на территории Рыбницкого угольного района держится на постоянно высоком уровне. Сравнивая техногенные отвалы модельных объектов стоит отметить, что средние значения SO_4^2 в пункте 1 в Кнурове, составили – 4968 мг/л. Коэффициент вариации (CV) составил 7,7%, что указывает на однородность исследуемой выборки содержания сульфатов в подотвальных водах. А в водах с отвала "Пшув-Анна" (пункт 4) среднее содержание сульфатов несколько ниже 4187 мг/л, CV 47,8%, что указывает на некоторую неоднородность показателей содержания сульфатов в водах, поступающих с отвала "Пшув-Анна". Высокая концентрация сульфатов характерна для сточных вод всех отвалов угледобычи, что нашло свое подтверждение в работах I. Twardowskiej (1981), J. Różkowski и др. (2000).

Приток фильтрата в водоёмы-реципиенты приводит к увеличению концентрации сульфатов в их водах. Среднее значение сульфатов в водах пункта 3 составило 3213 мг/л, а в пункте 5 – 3897 мг/л. В обоих случаях содержание SO_4^{2-} было статистически ниже, чем их концентрация в пунктах 1 и 4. Самая низкая изменчивость концентраций наблюдалась в поверхностных водах в пункте 1, испытывающим постоянное воздействие отвала „Кнуров-Шчигловице". На данную однородность указывает низкая величина CV– 7,2%.

Сточные воды характеризуются также высокой средней концентрацией хлоридов. Хлориды, как и сульфаты поступают в поверхностные воды в результате процесса выщелачивания горных пород. Отработанные породы, сконцентрированные в отвалах, содержат в среднем от 20 до 80 мг хлора на 100 г породы, вследствие чего сточные воды характеризуются высокой степенью засоления. Поверхностные воды в модельных объектах отличаются стабильно высоким содержанием Cl^-. Среднее значение хлоридов в пунктах 1-4 составило 1769 мг/л. В свою очередь в пункте 5 среднее содержание хлоридов составило 810 мг/л, что более чем в 2 раза ниже чем в пунктах 1-4. Коэффициент вариации CV для пунктов 1-4 составил соответственно 39%, 18%, 30%, 24%, что отражает относительную устойчивость процесса засоления и большую предсказуемость показателей. Лишь пункт 5 имеет повышенный CV 47%, что указывает на неоднородность выборки. Это может быть следствием удаленности исследуемого водоема от отвала и разбавлением его вод, низко минерализованным естественным притоком.

Выводы

Лимническая система в пределах Рыбницкого угольного района, подвергается интенсивному техногенному воздействию. В настоящее время происходит постоянный излив инфильтрата и подотвальных вод в результате чего продолжается деградация водной экосистемы**.** Анализ результатов исследований позволяет утверждать, что горнодобывающее воздействие существенно влияет на загрязнение поверхностных вод сульфатами (SO_4^{2-}) и хлоридами (Cl^-) (рис 2). Основным источником этих загрязнений являются отвалы горных пород, расположенных непосредственно возле шахт каменного угля. Относительно высокая стабильность сульфатов и хлоридов в водной среде делает

возможным их обнаружение даже вдали от очага загрязнения. По этой причине сульфаты и хлориды следует рассматривать как очень хорошие показатели антропогенного загрязнения лимнических вод.

Было отмечено последовательное снижение концентраций сульфатов и хлоридов с удалением от тела техногенных отвалов. В результате чего в зоне влияния горных выработок и техногенных образований формируются значительные объемы сульфатных вод. Значительные объемы складируемой породы обеспечивают столь же большие массы подотвальных вод, характеризующихся кране высокой величиной электролитической проводимости, что служит одной из причин формирования негативной экологической обстановки в регионе. Доминирование высокого засоления поверхностных вод в приотвальных водоемах происходит вследствие выполнения водоёмами функций разбавителей и накопителей химических веществ, мигрирующих с поверхностным стоком в воды технологических водоёмов.

Аналитические данные, полученные в результате изучения химического состава водных объектов, позволяют предложить несколько практических решений. Наиболее важные предложения касаются функционирования водоемов с регулируемым сбросом промышленных стоков, предохраняющим качественную деградацию водных экосистем.

Список литературы

Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области.- Пермь, 1990.-44с. /3.0/

Dojlido J. Chemia wód powierzchniowych / J. Dojlido. – Białystok : Wydawnictwo Ekonomia i środowisko, 1995. – 342 s.

Jankowski A. T. 1986. *Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysłowionym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego).* Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.

Jankowski A.T., Molenda T., Rzętała M. 2002. Antropogeniczne „źródła" zwałów górnictwa węgla kamiennego. *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, vol. II. Uniw. Łódzki, Łódź: 113-118.

Klimaszewski M. (red.), 1972: *Geomorfologia Polski, t. 1: Polska południowa - góry i wyżyny*. PWN Warszawa.

Kondracki J., 2009: *Geografia regionalna Polski.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. Molenda T. 2006. Charakterystyka hydrograficzno-hydrochemiczna wypływów wód odciekowych wybranych składowisk odpadów przemysłowych. *Zesz. Naukowe Politechniki Śląskiej*, 272: 95-103. Machowski R., Ruman M. Zanieczyszczenia wód na obszarze Górnośląskiego Związku Metropolitarnego. [w:] Górnośląski Związek Metropolitarny. Zarys geograficzny. Red. R. Dulias, A. Hibszer. Sosnowiec PTG, s. 82-89.

Rosik-Dulewska Cz. 2000. *Podstawy gospodarki odpadami*. PWN, Warszawa.

Różkowski J., Chmura A. 2000. Zagrożenia środowiska wodnego związane ze składowaniem odpadów pogórniczych w rejonie Rybnika [w:] *Środowisko przyrodnicze regionu górnośląskiego – stan poznania, zagrożenia i ochrona*. Konf. Naukowa, Sosnowiec: 111-116.

Runge J. Metody badań w geografii społeczno-ekonomicznej – elementy metodologii, wybrane narzędzia badawcze / J. Runge. – Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, 2006. – 700 s.

Rzętała M., 2008: *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego.* Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.

Twardowska I. 1981. *Mechanizm i dynamika ługowania odpadów karbońskich na zwałowiskach.* PAN, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska. Prace i studia, nr. 25, Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wyd. PAN, Wrocław.

Sulfates (SO_4^{2-}) and chlorides (Cl-) as indicators of mining pollution of surface waters (on the example of the resorvoirs within the Rybnik coal area in Poland)

Romanchuk A. I.
Silesian University in Katowice, Departament of Physical Geography, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland
aleksy.romanczuk@gmail.com

Abstract: In this paper presented results of studies of limnic ecosystems in model objects in the Rybnik Coal Region, Poland. The main aim of investigation is to determine the negative impact of man-made dumps of coal mining on the qualitative salinity of surface water. To assess the technogenic impact on the water resources of the Rybnik Coal Region were chosen two model post-industrial landfills. The studies included measurements of electrolytic conductivity and determination of sulphate and chloride ions in similar morphogenetic, morphometric and functional features model objects. The research took place from March 2016 to January 2017. During fieldwork, the electrolytic conductivity was measured. In the laboratory were analyzed concentrations of sulfate and chloride ions in surface water samples. The electrolytic conductivity varied in the range of 7,4 mS/cm to 13,3 mS/cm in "Knurow-Szczygłowice", An increased content of sulfates (SO_4^{2-}) and also chloride ions (Cl^-) in surface waters was observed. In the area of the model object "Pszów-Anna" - the values of this indicator varied within the limits of 3.86-17.81 mS/cm. The contents of sulfate ions varied within the following limits: 2513-6310 mg/l. The average content of chlorides in model objects is located within the limits of variability of 720-2600 mg/l. This paper examines one of the aspects of the impact of mining developments, such as contamination by infiltration and underspoil waters, which determines physicochemical transformation of surface waters. The carried out researches allow to assert, that the sources of surface waters pollution by sulfates and chlorides are leachate from landfills. Therefore, both sulphates and chlorides can be considered here to be good indicators of mining pollution of surface waters.

Keywords: salinity, sulfates, chlorides, water pollution, landfills, leachate

Чувствительность оценки речного стока органических веществ к полноте и способам интерпретации исходных данных

Соколов Д.И.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
Dmitriy.Sokolov@yandex.ru

Аннотация: Оценка стока органических веществ (ОВ) с речного водосбора может быть выполнена по материалам отдельных исследований (от единичных измерений до детальных длительных наблюдений) или регулярного мониторинга (от нескольких раз в год до ежесуточного), а при отсутствии фактических данных – на основе литературных обобщений (некие характерные значения содержания ОВ, эмпирические связи содержания ОВ с расходом воды и т.п.). Мерой содержания ОВ часто служат косвенные показатели: ХПК, перманганатная окисляемость (ПО), цветность воды (ЦВ). Цель настоящей работы – оценить погрешности расчетов речного стока ОВ в зависимости от количества, качества исходных данных и подхода к их интерпретации. Для этого выполнены многовариантные оценки стока ОВ основных притоков Можайского водохранилища – рек Москвы и Лусянки за 1984, 2012 и 2016 гг. Сравнение выполненных оценок показало, что они существенно зависят не столько от объема исходных данных, сколько от метода их интерпретации. Оценки годового стока ОВ на основе показателей ХПК и ПО различаются не более чем на 15%, по значениям ЦВ – завышены до 40% и более. При частоте мониторинга 1 раз в месяц и чаще погрешность оценок не превышает 6% для года (до 20% для отдельных сезонов), при наблюдениях лишь в основные фазы гидрологического режима – достигает 20% (до 60% для отдельных сезонов). Погрешность оценок годового стока ОВ на основе литературных обобщений (характерное содержание ОВ для сезонов), достигает 25% по ХПК, 35% по ПО и 45% по ЦВ. Использование эмпирических связей содержания ОВ с расходом воды дает наименее достоверные результаты: погрешность годовых оценок достигает 80%, а сток ОВ в отдельные фазы гидрологического режима завышен в 3–4 раза. Более надежны связи для периода половодья; наименее эффективны «универсальные» связи для остальной части года в областях минимальных и максимальных расходов. Получение и применение зависимостей для большего числа фаз и подфаз гидрологического режима может понизить погрешность оценок годового стока ОВ до ±10%.

Ключевые слова: органическое вещество, речной сток, оценка стока, региональная гидрохимия, погрешность оценки

Введение

Для системы водоснабжения г. Москвы, как и более чем для трети поверхностных источников водоснабжения России, острой проблемой является повышенное содержание в воде органических веществ (ОВ), достигающее 3 ПДК и более. Основной тому причиной служит поступление аллохтонных ОВ природного происхождения с речным стоком.

Для минимизации технологических трудностей и финансовых издержек в практике водоподготовки чрезвычайно важное значение имеет прогнозирование показателей содержания ОВ в водных объектах систем водоснабжения. Между тем достоверность расчетов стока ОВ с водосбора зависит не только от объема и надежности исходных данных, но и от методики вычислений.

При отсутствии или нехватке данных наблюдений оценка стока ОВ может быть произведена на основе литературных данных о гидрохимическом режиме поверхностных вод исследуемого региона (характерные среднегодовые или сезонные концентрации ОВ

и т.п.). По материалам достаточно подробных и продолжительных исследований качества речных вод могут быть получены и использованы для расчета стока ОВ статистические связи содержания ОВ с теми или иными гидрологическими характеристиками (например, расходом воды). Если же на реке осуществляется учащенный мониторинг, это позволяет применять в расчетах интерполяцию между измеренными величинами.

Цель настоящей работы – оценить, насколько оценка речного стока органических веществ чувствительна к полноте исходных данных и выбранной расчетной методике.

Материалы и методы

Для того, чтобы оценить, насколько на результат вычисления годовой величины речного стока ОВ влияют количество, качество исходных данных и особенности их интерпретации, были произведены многовариантные расчеты стока ОВ рек Москвы и Лусянки – основных притоков Можайского водохранилища (Комплексные…, 1979 и 1985; Гидроэкологический…, 2015) за 1984, 2012 и 2016 гг.

Выбор объектов исследования и расчетных лет обусловлен их максимальной обеспеченностью фактическими данными. В указанные годы на водосборе Можайского водохранилища проводились детальные гидролого-гидрохимические наблюдения, включавшие определение косвенных показателей содержания ОВ (химического потребления кислорода ХПК, перманганатной окисляемости ПО и цветности воды ЦВ) в речных водах. Наблюдения на р. Москве проводились в створе действующего поста Росгидромета у деревни Барсуки (площадь водосбора F = 755 км^2), на р. Лусянке – неподалеку от действующего поста д. Черники (F = 170 км^2).

Наиболее частые гидрохимические наблюдения на притоках Можайского водохранилища осуществляли в средневодном 1984 г. (суммарный поверхностный сток с водосбора Можайского водохранилища W = 263 млн м^3). В половодье и при прохождении крупных паводков пробы речной воды отбирали ежедневно, в период зимней межени – не реже 1 раза в неделю, в остальную часть года – не реже 2 раз в неделю. Такая полнота фактического материала позволяет применить линейную интерполяцию для восстановления ежесуточных значений показателей содержания ОВ в речных водах, а результат расчета годового стока ОВ, основанный на этой интерполяции, считать наиболее достоверным и принять в качестве «эталона». Это позволяет количественно оценить погрешности остальных вариантов расчетной методики, сопоставляя их результаты с «эталонным».

Многоводный 2012 г. (W = 360 млн м^3) характеризовался самыми редкими наблюдениями: раз в 2–4 дня в период половодья, в остальную часть года – в среднем раз в 2 недели (в летне-осенний период – каждые 1–2 недели, зимой – каждые 2–3 недели).

В средневодном 2016 г. (W = 287 млн м^3) в половодье и во время самого крупного летнего паводка наблюдения на притоках, как и в 1984 г., осуществляли ежедневно. В летне-осенний период пробы отбирали каждые 1–2 недели, зимой – каждые 2–3 недели, в среднем – ежедекадно, т.е. примерно в три раза реже, чем в 1984 г., но в полтора раза чаще, чем в 2012 г.

Величину стока ОВ за тот или иной период (R_{OB}, тонны ОВ в пересчете на органический углерод $C_{орг}$) рассчитывали как произведение объема водного стока W, млн м^3 на соответствующую концентрацию $C_{орг}$. Поскольку о содержании ОВ приходится судить по косвенным показателям ХПК, ПО, ЦВ (вполне типичная ситуация для отечественных гидрохимических исследований, особенно когда речь идет о многолетних рядах наблюдений), первым источником погрешностей оценки стока ОВ становится использование полуэмпирических зависимостей для пересчета величин окисляемости и цветности воды в весовое содержание $C_{орг}$. В настоящей работе использованы

зависимости, полученные для водных масс Можайского водохранилища (Соколов и др., 2017).

Чтобы оценить, насколько снижение частоты пробоотбора влияет на оценку годового стока ОВ, выполненную на основе данных фактических наблюдений с применением линейной интерполяции, выполнена первая серия расчетов. Массив фактических данных за 1984 г. (результаты определений ХПК, ПО, ЦВ с исходной средней частотой 2 раза в неделю) был последовательно прорежен таким образом, чтобы сымитировать наблюдения на реках частотой 1 раз в неделю, 1 раз в декаду (соответствует частоте пробоотбора в 2016 г.), 1 раз в 2 недели (соответствует частоте пробоотбора в 2012 г.), 1 раз в месяц, 1 раз в фазу гидрологического режима (по 1 пробе в зимнюю межень, половодье, летнюю межень, крупные летние и осенние паводки).

Далее были опробованы методики оценки речного стока ОВ, которые могут применяться при отсутствии данных гидрохимических наблюдений за расчетный период. Вторая серия расчетов выполнена при допущении отсутствия каких-либо данных о качестве речных вод, кроме имеющихся в литературе обобщений (характерных величин содержания ОВ в те или иные сезоны года или фазы гидрологического цикла). Наконец, третья серия расчетов годового стока ОВ выполнена с использованием эмпирических связей показателей содержания ОВ в речных водах с величиной расхода воды, которые могут быть получены лишь на основе материалов детальных гидрохимических исследований на реках.

Результаты

Сравнение результатов расчетов годового стока ОВ, выполненных на основе косвенных показателей, подтверждает, что величины ХПК и ПО являются существенно более надежными количественными характеристиками содержания ОВ, чем цветность воды. Оценки годового стока ОВ на основе показателей ХПК и ПО различаются не более чем на 15%, а по значениям ЦВ – завышены до 40% и более. Наибольшие расхождения оценок, основанных на разных показателях, зафиксированы чаще всего в фазы повышенного стока.

Примечательным результатом расчетов, выполненных по массивам данных годичных циклов регулярных наблюдений (первая серия), стало то, что частота мониторинга не оказывает существенного влияния на погрешность оценки годового стока ОВ. При снижении частоты наблюдений с 2 раз в неделю до 1 раза в месяц погрешности возрастают лишь на 6%, при наблюдениях во все фазы гидрологического цикла (зимнюю межень, подъем, пик, спад половодья, летнюю межень, крупные летние и осенние паводки) – достигают 10%, и лишь при наблюдениях 4 раза в год (зимняя межень, пик половодья, летняя межень, летний или осенний паводок) возрастают до 20%. При этом совершенно очевидно, что интерполяция по данным редких наблюдений существенно искажает внутригодовое распределение стока: для отдельных фаз водного режима погрешности составляют до 50–60% (наиболее велики они в периоды летне-осенних паводков).

Для второй серии расчетов использованы следующие литературные данные: характерные значения ЦВ притоков Можайского водохранилища в сезоны года (весна, лето + осень, зима) по данным (Комплексные…, 1979) и незначительно отличающиеся от них обобщения, приведенные в (Комплексные…, 1985); средние значения показателей ХПК и ПО в воде р. Москвы и Лусянки в фазы гидрологического цикла (зимняя межень, зимние паводки, весеннее половодье, летняя межень, летние паводки, осенние паводки) по данным исследований 1984 г. (Изучение…, 2014).

Оценки годового стока ОВ по сезонным значениям ЦВ для всех лет существенно занижены (погрешность возрастает от 0–20% для 1984 г. до 10–30% для 2012 г. и 35–45% для 2016 г.). Это может быть как свидетельством многолетнего увеличения выноса окрашенных гумусовых ОВ с водосбора, так и следствием изменения приборной и

методической базы (что более вероятно). Сильнее всего занижен сток ОВ в периоды летне-осенних паводков. Примечательно, что за счет такого занижения оценки стока ОВ по ЦВ по обобщенным данным исследований 1960–70-х гг. оказались ближе к «эталонным» оценкам по ХПК и ПО.

Расчеты на основе характерных значений ХПК и ПО дают достоверный результат для 1984 г. (погрешность годовой оценки ±2%), что вполне естественно, поскольку используемые обобщения получены по материалам исследований этого года. Для 2012 и 2016 гг. оценка годового стока ОВ данным способом занижена на 10–25% и 15–35% соответственно. Возможные причины таких межгодовых различий – те же, что для цветности. При этом сток ОВ во время зимних оттепелей, наоборот, оказывается завышен до 2 раз.

В основу третьей серии расчетов легли попытки формализовать зависимость стока ОВ рассматриваемых рек от водного стока, предпринятые в работах (Соколов и Ерина, 2017; Соколов и др., 2017). В первой работе рассмотрены связи стока ОВ (в тоннах) с величиной расхода воды раздельно для подъема, спада половодья и остальной части года. Во второй работе получены связи ПО с величиной расхода воды для начала подъема, пика, начала спада, конца спада половодья и остальной части года.

В отличие от ионного стока, для которого характерна обратная связь с величиной расхода воды, речной сток ОВ, напротив, прямо пропорционален водности периода, так как в фазы повышенного стока происходит наиболее интенсивный смыв ОВ с водосбора. Однако эта связь весьма изменчива в течение года и не может быть эффективно аппроксимирована.

Поэтому использование эмпирических связей содержания ОВ с расходом воды дает наименее достоверные результаты оценки годового стока ОВ, значительно завышая его. Поскольку обе использованные связи получены по материалам исследований 2012 и 2016 гг., для этих лет погрешности ниже (30–45% для 2012 г. и 0–20% для 2016 г.), в то время как для 1984 г. завышение годового стока ОВ составляет 60–80%.

Связи для периода половодья дают достоверные результаты для 2012 и 2016 г. (отчасти благодаря обширному материалу, на котором они основаны), но для 1984 г. завышают сток ОВ на 30–50%. Связи, полученные для всей остальной части года, значительнее всего (до 250%, т.е. в 3–4 раза) завышают сток ОВ в областях минимальных и максимальных расходов. Возможные причины этого – нехватка наблюдений в периоды летней и особенно зимней межени, а также нерепрезентативность данных единичных наблюдений в периоды летне-осенних паводков. Замена полиноминальной зависимости $R_{ОВ}$ от Q на степенную по рекомендации коллег – участников конференции, где были представлены результаты работы (Соколов и Ерина, 2017), позволила снизить погрешность оценок годового стока ОВ на 6–12%, а в отдельные периоды – в разы.

Перспективным путем совершенствования методики оценки стока ОВ с использованием эмпирических связей должно стать более дробное деление гидрологического цикла и получение индивидуальных зависимостей для его фаз и подфаз с учетом условий формирования вещественного стока на водосборе. В рамках настоящего исследования были опробованы такие зависимости, полученные заведующим Красновидовской УНБ МГУ имени М.В. Ломоносова по материалам исследований 2012 г. для следующих периодов: подъем половодья и зимние паводки, спад половодья, летние паводки, летняя межень, зимняя межень. Погрешности оценок годового стока ОВ по связям ПО(Q) составляют от +3 до –33% (в отдельные фазы водного режима до 100%), по связям БО(Q) – не превышают 10% (35% в отдельные фазы).

Выводы

Сравнение выполненных оценок показало, что они существенно зависят не столько от объема, сколько от характера исходных данных и метода их интерпретации.

Оценки годового стока ОВ на основе показателей ХПК и ПО различаются не более чем на 15%, а цветность воды не является надежным показателем содержания ОВ – оценки, основанные на значениях ЦВ, завышены до 40% и более.

При снижении частоты наблюдений с 2 раз в неделю до 1 раза в месяц погрешности оценок не превышают 10% для года (до 20% для отдельных сезонов), а при наблюдениях лишь в основные фазы гидрологического режима – достигают 20% (до 60% для отдельных сезонов).

Погрешность оценок годового стока ОВ на основе литературных обобщений (характерные сезонные значения показателей содержания ОВ) достигает 25% по ХПК, 35% по ПО и 45% по ЦВ.

Использование эмпирических связей содержания ОВ с расходом воды дает наименее достоверные результаты: погрешность годовых оценок достигает 80%, а сток ОВ в отдельные фазы гидрологического режима завышен в 3–4 раза. Более надежны связи для периода половодья; наименее эффективны «универсальные» связи, полученные для остальной части года, в областях минимальных и максимальных расходов. Получение и применение зависимостей для большего количества фаз и подфаз гидрологического цикла может понизить погрешность оценок годового стока ОВ до ±10%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-35-00199 мол_а).

Список литературы

Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). М.: Перо, 2015. 284 с.

Изучение влияния экстремально жарких периодов на гидрохимические и гидробиологические характеристики систем водоснабжения на примере г. Москвы Отчет о НИР по Государственному контракту от 26 ноября 2012 г. № 50-НИОКР/3-8-2012 по базовому проекту 12фцп-Н5-07 (заключительный). Часть 1. М., 2014. 455 с.

Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 3. Можайское водохранилище. М.: Изд-во МГУ, 1979. 467 с.

Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 6. Водохранилища Москворецкой водной системы. М.: Изд-во МГУ, 1985. 266 с.

Соколов Д.И., Ерина О.Н. Параметризация притока органических веществ в Можайское водохранилище // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды Международной научно-практической конференции. Т. 2. Качество воды. Геоэкология. Пермь, 2017. С. 135–140.

Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терешина М.А. Содержание органических веществ в притоках москворецких водохранилищ: возможности оценки при отсутствии данных мониторинга // Инженерные изыскания. 2017. №8. С. 30–43.

Assessment of organic matter flow in rivers: dependence on the details and interpretation methods of original data

Sokolov D.I.
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
Dmitriy.Sokolov@yandex.ru

Abstract: Dissolved organic matter (DOM) flow assessment from river catchment can be based on actual data of the conducted research (from single measurements to detailed long-term observations) or regular monitoring (from several times a year to daily), in the absence of actual data – according to scientific sources (characteristic values of DOM content, empirical relationships of the DOM content with water discharge, etc.). Indirect indicators as a Chemical Oxygen Demand (COD, mg O/l), Chemical Oxygen Demand by Permanganate (COD_{Mn}) and true watercolor (WC) are often the measure of the DOM content. The purpose of this report is estimation error of DOM flow in rivers depending on quantity, quality and approach to interpretation of original data. For this purpose, multivariate DOM flow assessment of main Mozhaysk reservoir tributaries (Moskva and Lusyanka rivers) was made in 1984, 2012 and 2016. As a result, the comparison of the assessment showed that it depends on original data interpretation more than on its quantity. The difference between annual DOM flow assessments based on COD and COD_{Mn} indicators is about 15%, on WC – 40% and more. Estimation error is up to 6% of the annual assessment in case of monitoring once a month (20% for some seasons), while monitoring only the main phases of hydrological regime – up to 20% (60% for individual seasons). Estimation error of annual DOM flow based on scientific sources (characteristic content of DOM for seasons) is up to 25% for COD, 35% for COD_{Mn} and 45% for WC. Use of empirical relationship between DOM content and water discharge shows the least reliable results: estimation error of annual assessment is up to 80%, and DOM flow in phases of the hydrological regime is overestimated by 3–4 times. Relationship is more reliable for the flood period; for others periods it is less effective for peak and low water discharge. Obtaining and applying dependencies for a greater number of phases and sub-phases of the hydrological regime may reduce the error of annual DOM flow assessments to ±10%.

Keywords: organic matter, river flow, flow assessment, regional hydrochemistry, estimation error

Разработка интегрального индекса для оценки устойчивости водотоков к изменению параметров естественного режима

***Титова Ю. М.*, Примак Е. А., Зуева Н. В.**
Российский государственный гидрометеорологический университет
julek-93@mail.ru

Аннотация: Деятельность человека оказывает значительное влияние на ландшафты, что в свою очередь вызывает изменения в водных экосистемах. Для того, чтобы избежать неблагоприятных последствий антропогенного воздействия на водные объекты, необходимо учитывать степень их устойчивости к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Устойчивость является одной из важнейших характеристик, поскольку описывает возможность экосистемы сохранять свои свойства при различном воздействии на нее как извне, так и внутри. Это обуславливает актуальность оценки устойчивости водных объектов. На сегодняшний день наиболее изучены подходы к оценке устойчивости водоемов к изменению параметров режимов.

Одним из методов оценки устойчивости водных объектов является интегральная оценка. Целью данной работы является разработка модели-классификации, которая позволит оценить устойчивость водотоков к изменению параметров естественного режима. Для создания модели-классификации существует определенный алгоритм. Первый по порядку и важности этап – отбор таких характеристик или параметров водотоков, которые наилучшим образом характеризуют их устойчивость. В данной работе было выбрано 7 таких признаков: характер водотока, площадь водосбора, расход воды, среднее значение температуры воды в летние месяцы, продолжительность маловодной фазы, а так же характеристики устойчивости русел рек – характер их горизонтальных деформаций и уклон водотока.

Для каждой из характеристик были установлены границы их минимальных и максимальных значений. Далее была проведена процедура нормирования, определен «вес» каждого параметра и рассчитано значение сводного показателя для правой и левой границ каждого класса. По правилам построения модели-классификации разработана итоговая классификация. Апробация разработанной модели-классификации для оценки устойчивости водотоков к изменению параметров естественного режима проводилась на реках Российской Федерации. В результате проделанной работы было установлено, что малые реки имеют среднюю устойчивость к изменению параметров естественного режима и устойчивость ниже средней, а крупные – максимальную и выше средней.

Ключевые слова: река, устойчивость водотоков, интегральный индекс, интегральная оценка, метод сводных показателей.

Введение

Водотоки являются неотъемлемой частью ландшафта. Обычно это реки – от малых до крупных. Изменение в ландшафте приводит к изменениям в водотоке, то есть состояние водотока зависит от состояния ландшафта. А состояние вод малых рек обуславливает качество средних и крупных рек. Одним из важнейших параметров любой экосистемы является устойчивость к внешнему воздействию, в том числе и антропогенному.

В настоящее время основное внимание при оценке устойчивости водных объектов уделяется водоемам. До сих пор не существует четкого, единого метода интегральной оценки устойчивости водотоков, что обуславливает необходимость ее разработки.

Устойчивость водотоков

Научный интерес к оценке устойчивости экосистем сформировался к концу 60-х годов прошлого века. Это связано с тем, что стало необходимо получать качественные оценки нагрузок, оказываемых на экосистемы, определять такие их значения, превышение которых приведет к гибели этих экосистем (Дмитриев, 2004).

В работе под устойчивостью понимается способность экосистемы под внешним воздействием сохранять свое текущее состояние. Такая трактовка совпадает с определениями устойчивости по Дмитриеву В. В. (Дмитриев, 2000), Росновскому И. Н. (Росновский, 1993), И. И. Мазуру и О. И. Молдованову (Мазур и Молдованов, 1996).

Устойчивость водных экосистем различного типа (циклического или транзитного) обусловлена различными природными механизмами. Для водных экосистем циклического типа (слабопроточные водоёмы) характерна адаптационная устойчивость, определяющая способность сохранять или плавно переходить в другое состояние, сохраняя при этом внутренние связи, то есть, инертность. Для водных экосистем транзитного типа (водотоки) устойчивость определяется способностью системы многократно восстанавливать свои свойства, возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия, иначе говоря, восстанавливаемостью (Дмитриев, 2004).

Для оценки степени устойчивости водных экосистем к изменению параметров естественного режима необходимо учитывать, чем различаются водотоки от водоемов: 1. Течение в реках относительно быстрое и направленное, а в водоемах оно медленное (чаще отсутствует) и ненаправленное. 2. В реках уровень воды гораздо более изменчив, чем в озерах. 3. Условия существования гидробионтов в озерах гораздо менее зависят от водосборного бассейна. 4. В водоемах условия существования гидробионтов характеризуются существенным вертикальным градиентом, в то время как в реках он не наблюдается. 5. В реках условия (температура воды, скорость течения, гидрохимические показатели и др.) значительно изменяются от истока к устью (Контантинов, 1986; Зилов, 2007).

Метод интегральной оценки устойчивости водотоков

Оценка устойчивости водотоков в данной работе выполнена с помощью многокритериальной оценки. Иными словами, для оценки устойчивости отобраны различные характеристики водотоков и сведены в единую таблицу классификации по степени устойчивости. Процесс ее создания состоит из шести этапов.

На первом этапе выбираются наилучшие, на наш взгляд, критерии для оценки устойчивости водотоков. При этом, каждый из параметров должен быть необходим, а все вместе они были достаточными для описания качества экосистемы.

На втором этапе с помощью математических преобразований выбранные критерии нормируются. Цель нормирования – приведение разноразмерных значений параметров к единой шкале значений от 0 до 1. При этом необходимо учитывать вид связей и их линейность: связь может быть прямой (первый тип) или обратной (второй тип), линейной или нелинейной.

На третьем этапе выбирается вид интегрального показателя $J(q,p)J(q,p)$. Он зависит от нормированной характеристики q и от ее значимости, которая определяется весовыми коэффициентами $p_i\,p_i$ (их сумма равна 1 ($0 \le p_i \le 10 \le p_i \le 1$).

На четвертом этапе вводятся оценки весовых коэффициентов. Само составление программы оценивания уже является первичным «взвешиваем», определением значимости каждого из параметров. Однако влияние каждого отобранного признака неравнозначно, и потому необходимо придавать при оценке различным критериям разные приоритеты. Нередко четкого обоснования выбора веса нет. Наиболее частыми случаями являются: равномерное распределение значимости между параметрами, приоритет

наиболее важных параметров увеличивается и вес второстепенных показателей уменьшается в условное число раз, вес определяется мнением экспертов, значимость каждого показателя определяется с помощью дополнительных расчетов. В самом простом случае интегральный показатель рассчитывается при равенстве всех весов.

На пятом этапе для левой и правой границ каждого класса по правилам методом сводных показателей рассчитывается значение интегрального показателя II с дальнейшим построением оценочной шкалы.

На шестом этапе проводится апробация разработанной модели-классификации по натурным данным.

Применение метода и результат

Для интегральной оценки устойчивости водотоков было отобрано семь критериев, наилучшим образом описывающих устойчивость экосистемы, и первый из них – характер действия водотока. Очевидно, что водотоки с постоянным характером действия относятся к устойчивым, а с временным – нет. Характер действия водотока является одним из признаков, по котором согласно ГОСТу, проводится классификация водных объектов (ГОСТ 17.1.1.02-77). Следующей характеристикой, отобранной для модели-классификации, является водосборная площадь водотока. Эта характеристика так же приведена в указанном выше ГОСТе. Большая площадь водосбора означает большее число возможных источников питания, а так же характеризуется более сложной ландшафтной системой, а, значит, большим числом экологических связей в ней. Именно связи формируют устойчивость ландшафтов, в том числе тех, в которых центральным звеном является гидрографический объект.

Один из важных параметров водотоков — это средняя температура воды в летние месяцы, поэтому он так же был включен в модель-классификацию, и указывается в ГОСТе. Важность этой характеристики заключается в том, что температура воды обуславливает самоочищение водной экосистемы: при более высоких температурах процесс самоочищение протекает значительно быстрее, нежели при более низких. Например, при температуре 20-25℃ за 20 суток окисляется 50-80% от общего количества поступившей в воду нефти, в то время как при температуре около 5℃ лишь 10-20% (Лыков, 2000). Из этого следуют, что более высокие значения температуры воды водотока в летние месяцы соответствует водотокам с более высокой степенью устойчивости, чем у водотоков с более низкими.

На самоочищающую способность водотоков так же оказывает значительное влияние расход воды: чем он выше, тем быстрее происходит процесс самоочищения водной экосистемы. Из этого следует, что более высокие значения расхода воды характеризуют водотоки с более высокой степенью устойчивости. По этой причине данный параметр был включен в модель-классификацию оценки устойчивости к изменению параметров естественного режима, так же он используется в ГОСТе для характеристики водотоков.

Следующий включенный в модель признак – продолжительность маловодной фазы водотока. Это период, когда водность реки поддерживается, главным образом, грунтовым питанием. Поэтому, чем короче период маловодной фазы водотока, тем он более устойчив.

Серьезное влияние на устойчивость водотока оказывает колебания его уровня: чем разность между наивысшими и наинизшими уровнями, наблюдающимися в период низкого стока на рассматриваемом створе (участке) водотока за многолетний период наблюдения, больше, тем водоток менее устойчив. Эта характеристика так же используется при оценке качества водотоков в ГОСТе.

Для оценки устойчивости водотоков к изменению параметров естественного режима в модель-классификацию была включена оценка устойчивости русла, разработанная К. М. Берковичем и А. Ю. Сидорчуком (Беркович, 1996).

По созданной модели-классификации водотоков была проведена оценка устойчивости к изменению параметров естественного режима некоторых рек территории Российской Федерации. Результаты проведенной работы показали, что малые реки имеет среднюю устойчивость и устойчивость ниже средней к изменению параметров естественного режима, в то время как крупные – максимальную и устойчивость выше вредней к изменению параметров естественного режима. Наибольшую роль в устойчивости водотока играют характер действия водотока, площадь водосбора и степень устойчивости русла.

Список литературы

Дмитриев В. В. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем / Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т. – СПб, 2004. –294 с.

Росновский И. Н. Устойчивость почвы: техногенно-механические аспекты – Новосибирск, 1993.

Дмитриев В. В. Оценка уязвимости водоемов к внешним воздействиям //Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив –2000. – вып. 10. – с. 284-296.

Мазур И. И. Инженерная экология. Общий курс в двух томах / Мазур И. И., Молдаванов О. И., Шишов В. Н. – М., 1996.

ГОСТ 17.1.1.02 – 77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов.

Беркович К. М. Устойчивость русел рек Европейской России и ее оценка в связи с антропогенными нагрузками на реки и их бассейны / Беркович К. М., Сидорчук А. Ю. // Проблемы оценки экологической напряженности Европейской территории России: факторы, районирование, последствия. – Москва, 1996. – С.77-88.

Константинов А. С. Общая гидробиология: Учеб. для студентов биол. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986 – 472 с.: ил.

Зилов Е. А. Гидробиология и водная экология: учебное пособие. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2007. – 118 с.

Лыков О. П. Охрана окружающей среды в процессе приготовления и использования буровых растворов / Учебное пособие для приготовления буровых растворов и лаборантов-коллекторов / Лыков О. П., Голубева И. А., Мещерякова С. В. – М.: Изд. дом «Ноосфера», 2000 – 76 с.

Development of an integral index for assessing the watercourse stability under natural conditions changes

Titova I. M.*, *Primak E. A.*, *Zueva N. V.
Russian State Hydrometeorological University
julek-93@mail.ru

Abstract: Human activity has a huge impact on landscapes, and causes changes in aquatic ecosystems. In order to avoid anthropogenic impact adverse effects on aquatic ecosystems, it is necessary to take into account the degree of their stability under natural conditions changes. Stability is one of the most important characteristics, since it describes the ecosystem`s possibility to maintain its properties under various influences on it from outside as well as inside. The assessment of the ecosystems sustainability became relevant due to the increased anthropogenic impact on them.

One of the methods for assessing the stability of watercourses is the integral assess. The aim of this work is to create a model-classification, which will allow assessing the watercourses stability to their natural conditions changes. There is a certain algorithm to create a classification model and the first step is a selection of such watercourses characteristics that best estimate their stability. For this work, seven characteristics were selected: watercourse character, water catchment area, duty of water, the average water temperature in the summer months, the duration of the low-water phase, and riverbeds stability. For each characteristic were chosen values ranges - the classes of stability. Then they were rationed, the "weight" for each parameter was chosen, and composite indicator values for the right and left borders of each class were calculated. According to the rules of the model-classification development the final classification was done. Approbation of the developed model-classification for assessment of watercourses stability under natural conditions changes was carried out on the Russian Federation`s rivers. As a result of the work done, it was found that small rivers have average stability under natural conditions changes and stability below the average while large ones - maximum and above average stability.

Keywords: river, watercourse stability, integral index, integral assess, Method of Aggregate Indices

Влияние ветра на скоростной режим района переменного подпора Камского водохранилища

Толочко Ю. А.
Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, Пермь
apenkova_juliya@rambler.ru

Аннотация: Целью данной статьи является рассмотрение характеристик скоростного режима района переменного подпора Камского водохранилища. В верховьях Камского водохранилища, в районе переменного подпора, расположен Березниковско-Соликамский промышленный комплекс, активно использующий данный участок водохранилища в разных целях (приемник сточных вод, судовой путь для проводки плотов и пр.). Этот район характеризуется сложным, практически не изученным гидрологическим режимом, что объясняется периодической сменой гидродинамических условий. Антропогенное использование совместно со сложным гидрологическим режимом неоднозначно влияет на переформирование его котловины. На данном этапе исследования направлены на изучение скоростного режима водохранилища в целом и района переменного подпора в частности. Такой подход позволяет наиболее ярко показать особенности гидродинамики изучаемого района.

Было выявлено, что по длине водохранилища максимальные скорости наблюдаются в приплотинной части и в районе переменного подпора, а минимальные в центральной части водохранилища. Распределение среднемесячной, донной и поверхностной скорости по длине водохранилища в районе переменного подпора показало, что скорости уменьшаются от пгт. Тюлькино к г. Березники – речные условия, от г. Березники к д. Быстрая скорость незначительно увеличилась – переход речных условий в условия водохранилища и затем на участке д. Быстрая - д. Усть-Пожва – скорость идет на спад. Изменение скорости с глубиной не выявило каких-то конкретных закономерностей. Зато соотношение скорости течения и скорости ветра показало, что северное и северо-восточное направление ветра увеличивает скорость течения реки, а южное и юго-западное – замедляет. Но это положение нарушается морфологией и морфометрией водоема.

Ключевые слова: скорость течения, направление течения, ветер, морфология, морфометрия, переменный подпор.

Введение

Скорость и направление течения в поверхностном слое воды находятся в непосредственной зависимости от скорости и направления ветра. Однако скоростной режим определяется не только характеристиками ветра, но и зависит от постоянных течений, рельефа дна, изменения атмосферного давления, плотностной неоднородности и др. (Матарзин, 2003) Мы рассмотрели влияние ветра на скоростной режим в районе переменного подпора Камского водохранилища.

Материалы и результаты

Для анализа были взяты данные на постах пгт. Тюлькино с 1978 до 1981 г., г. Березники с 1964 до 1981 г., д. Усть-Пожва и д. Быстрая с 1961 до 1980 г. из материалов наблюдений на озерах и водохранилищах и из фондовых материалов ЕНИ ПГНИУ.

Анализ среднемесячных скоростей проточного течения по длине Камского водохранилища за многоводный год (1965) показал, что участок Тюлькино-Соликамск имеет наибольшие скорости от 0,79 м/с до 1,9 м/с в мае. Затем прослеживался спад в средней части водохранилища, где скорость достигала минимальных значений 0,02 м/с. Это связано с тем, что здесь водохранилище расширяется. Далее, по мере сужения

водоема, максимальные скорости варьируются от 0,15 м/с до 0,3 м/с, но их значения сравнительно ниже, чем в районе выклинивания подпора. (Китаев, 2006)

В маловодном году (1967), наблюдалась такая же тенденция. Среднемесячные скорости достигли максимума (0,85 м/с) в первом районе в мае, менее значительны они были в апреле (0,4 м/с и 0,35 м/с). Минимальные значения скорости имели в центральной части (0,01 м/с). Затем вновь шло их увеличение по длине водохранилища до 0,11 м/с. (Китаев, 2006)

Таким образом, можно выявить некоторую закономерность в изменении скоростей по длине водохранилища: увеличение в первом районе и в приплотинной части, и уменьшение в центральном районе. Это связано с морфологией и морфометрией водоема. Исходя из этого, скорость течения должна уменьшаться от д. Быстрая в сторону д. Усть-Пожва. Действительно, при южном ветре, противоположном направлению течения, скорость здесь уменьшается (с 0,1 м/с до 0,09 м/с в июле и с 0,05 м/с до 0,03 м/с в октябре 1961 г.; с 0,64 м/с до 0,46 м/с в мае и с 0,22 м/с до 0,13 м/с в июле 1966 г.). Однако в ряде случаев (в половодье или при больших скоростях северного ветра) скорость может возрастать с 0,49 м/с до 0,6 м/с. Иначе говоря, скорость течения реки в большей степени зависит от скорости и направления ветра. Однако анализ всех данных показал, что обычно скорость течения в районе д. Быстрая выше, чем в районе д. Усть-Пожва. Причина – изменение морфометрических характеристик – ширины и глубины. Глубина реки в районе д. Быстрая (2,8 м) меньше, чем в районе д. Усть-Пожва (3,5 м). В районе д. Усть-Пожва на уменьшение скорости течения реки оказывает и наличие заводей (морфология).

Нами были проанализированы среднемесячные, поверхностные и донные скорости по длине водохранилища и в районе переменного подпора (рис.1). Здесь прослеживается уменьшения скорости от пгт. Тюлькино к д. Усть-Пожва. На первом участке (пгт. Тюлькино - г. Березники) речные условия и скорости максимальные (0,92 м/с). На втором участке (г. Березники - д. Быстрая), где происходит переход от речных условий к условиям водохранилища, наблюдается увеличение среднемесячной скорости от 0,14 до 0,21 м/с и поверхностной скорости от 0,16 до 0,25 м/с. На третьем участке (д. Быстрая – д. Усть-Пожва) в связи с уменьшением ширины скорости также уменьшаются до 0,04 м/с. Из распределения поверхностной скорости по длине водохранилища (рис.1) видно, что в мае кривая скоростей отклоняется от общей зависимости. В пгт. Тюлькино скорость была ниже (0,6 м/с), чем в г. Березники (0,66 м/с), это связано с тем, что в мае дул северо-западный ветер, который совпадает с направлением течения. Ветер усиливал поверхностную скорость течения, но не оказывал влияния на донную.

На величину скорости течения влияет также направление ветра. Район переменного подпора в соответствии с положением реки имеет направление с севера на юг, что совпадает с преобладающим переносом воздушных масс. Но отдельные его части ориентированы относительно преобладающих направлений ветра иначе, что не может не сказаться на величине скоростей течения. Основными (преобладающими) направлениями ветра являются: северное, северо-восточное, южное и юго-западное. Они нами и были взяты за основные при анализе скоростного режима в районе выклинивания подпора.

По клетчаткам вероятности была проведена характеристика скорости ветра по квантилям 25, 50 и 75% (рекомендовано СП 33-101-2003). Также проанализирована зависимость скорости течения от скорости ветра.

Южное направление ветра. За изученные годы скорость ветра не превышала значения 7,6 м/с. Скорость ветра 5,6 м/с соответствовала вероятности 25 %, 3,8 м/с - 50%, 2,4 м/с - 75 %. При южном направление ветра противоположном направлению течения, поверхностная скорость течения уменьшается от 0,38 м/с до 0 м/с. Анализируя южное направление ветра, мы получили обратную линейную зависимость: чем больше скорость ветра, тем меньше скорость течения.

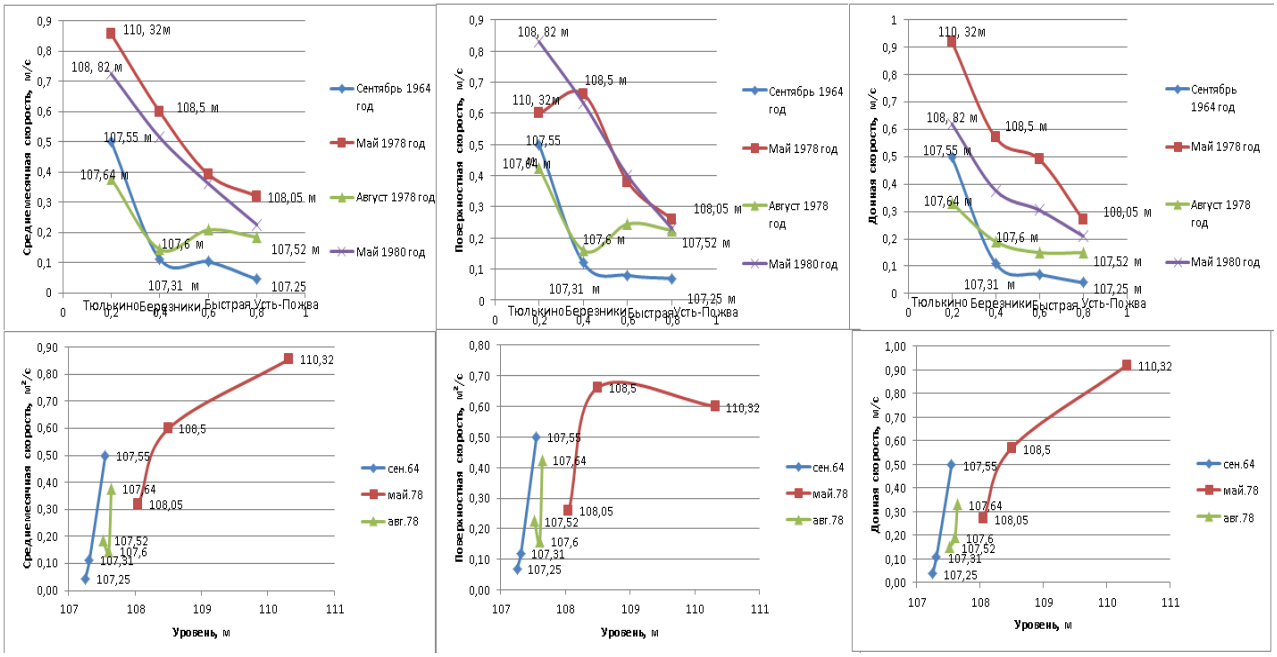


Рис. 1. Распределение скорости течения по длине водохранилища

Северное направление ветра. Скорость ветра не превышала 8,2 м/с. При 25 % обеспеченности она составила 5,6 м/с, при 50 % обеспеченности – 4 м/с, при 75 % обеспеченности – 2,8 м/с. Между скоростями ветра и течения наблюдается прямая линейная зависимость. Скорость течения увеличивается от 0,12 м/с до 0,28 м/с.

На вертикали д. Быстрая наблюдается также прямая линейная зависимость скорости течения от скорости ветра. Видно, что идет увеличение скорости от 0,38 м/с до 0,44 м/с. Таким образом, при северном направлении ветра скорость течения возрастает, так как направление ветра совпадает с направлением течения.

Северо-восточное направление ветра. При этом направлении наблюдалась максимальная скорость ветра - 7,2 м/с. Для вероятности 25 % скорость ветра 4,6 м/с, 50 % - 3,2 м/с, 75 % - 2,2 м/с. Анализ северо-восточного направления ветра выявил прямую зависимость между скоростями ветра и течения, так увеличение скорости течения от 0,03 до 0,29 м/с соответствует увеличению скорости ветра от 1 до 7 м/с.

Юго-западное направление ветра. Максимальная скорость за изучаемый период не превышала 4,3 м/с. При этом в первый квантиль (25 % обеспеченность) попали скорости течения 3,4 м/с, во второй – 2,5 м/с, в третий – 1,8 м/с. С увеличением скорости ветра (от 0 до 4 м/с) уменьшается скорость течения (от 0,76 до 0,02 м/с), что и характерно для этого направления ветра.

Неоднозначным является и направление течения на поверхности и дне водоема. Нами проанализированы направления течения на поверхности и на дне для пунктов г. Березники, д. Усть-Пожва и д. Быстрая при основных направлениях ветра: юго-западное, северное, северо-восточное и южное.

На вертикалях у г. Березники и д. Быстрая при любом направлении ветра на поверхности и у дна наблюдается преимущественно юго-западное направление течения, совпадающее со сточным у д. Быстрая и с проточным у г. Березники. Ветровой поток при не штормовых скоростях ветра здесь практически не влияет на направление течения из-за небольшой ширины и глубины водоема.

На вертикали у д. Усть-Пожва при северо-восточном направлении ветра на поверхности идет отклонение течения в сторону юго-запада. На дне уменьшается влияние

ветра – направление течения южное. При северном направлении ветра южное направление течения со незначительными отклонениями, стремится к юго-востоку, в сторону поворота реки. При юго-западном направлении ветра на поверхности течение отклоняется в сторону юго-востока – воздействие ветра. На дне течение направлено на юго-запад, ветер не влияет. Здесь уже прослеживается роль рельефа, т.к. на вертикали глубина 13,2 м, а в сторону юго-запада глубина увеличивается до 15,6 м (холм) и вода стремится в эти глубины, намывая правый берег. Размыв идет со дна.

Результаты проведенного анализа показывают, что влияние ветра зависит от морфологии и морфометрии водоема. В узких и неглубоких местах ветер не влияет на направление течения и река движется по течению, зато на широких и глубоких участках ветер играет неотъемлемую роль в формировании течения.

Вывод

Таким образом, действие ветрового потока заметно влияет на скорость течения. Северное и северо-восточное направления ветра, совпадающие с направлением течения, увеличивают его скорость. Южное и юго-западное направления ветра противоположно направлению течения - уменьшает скорость течения. Однако были и нехарактерные для направлений ветра изменения скорости с глубиной, объясняющиеся влиянием морфологии и морфометрии водоема.

Список литературы

Китаев А.Б. Важнейшие гидродинамические характеристики водохранилищ (на примере Камского каскада) / Перм. ун-т. Пермь, 2006. 260 с.

Матарзин Ю.М. Гидрология водохранилищ: Издательство ПГУ, ПСИ, ПССГК. Пермь, 2003.

Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах/ Глав.упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Ленинград, 1964-1971 – 8 т.

Фондовые материалы ЕНИ ПГНИУ, 1972-1980.

Effect of wind on the velocity regime in the area variable backwater of the Kama reservoir

Tolochko Y. A.
Perm State University, Perm
apenkova_juliya@rambler.ru

Abstract: The purpose of this article is to consider the characteristics of the velocity regime of the variable backwater area of the Kama reservoir. In the upper reaches of the Kama reservoir, in the area of variable backwater, there is Berezniki-Solikamsk industrial complex, which actively uses this section of the reservoir for different purposes (wastewater receiver, ship's way for wiring rafts, etc.). This area is characterized by the difficult, almost not studied hydrological regime that is explained by periodic change of hydrodynamic conditions. Human use in conjunction with a complex hydrological regime ambiguous effects on reform his basin. At this stage, the research is aimed at studying the velocity regime of the reservoir in general and the area of variable backwater in particular. This approach allows us to most clearly show the features of hydrodynamics of the study area.

It was revealed that maximum velocities are observed along the length of the reservoir in the dam part and around variable a subtime backwater, and the minimum ones in the central part of the reservoir. The distribution of the average monthly, bottom and surface velocity along the length of the reservoir in the area of variable backwater showed that the velocity decreases from the Tulkino to the Berezniki - river conditions, from the Berezniki to the Bystraya velocity increased slightly - the transition of river conditions in terms of reservoir and then in area Bystraya – Ust-Pozhva - velocity is on the decline. The change in velocity with depth did not reveal any specific patterns. But the ratio of flow velocity and wind velocity showed that the north and north-east direction of the wind increases the velocity of the river, and the south and south-west - slows down. But this position is disturbed by the morphology and morphometry of the reservoir.

Keywords: flow velocity, direction of current, wind, morphology, morphometry, variable backwater.

Мониторинг тепловых стоков на водосборах водных объектов

Чекмарева Е.А.
ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук
s_taya@list.ru

Аннотация: Для водосборов с высокой антропогенной нагрузкой характерны загрязненные стоки, которые отличаются высокой температурой относительно природных водных объектов. Стоки, переносящие тепло, изменяют температурные характеристики водоемов и водотоков. Часто, в их составе присутствуют загрязняющие вещества, что влияет на гидрохимический режим водного объекта. Автор статьи фиксировал температурные характеристики нескольких тепловых стоков контактным методом с помощью водного термометра, и бесконтактным методом в инфракрасной области спектра, используя тепловизор. Параллельно тепловой съемке отбирали пробы воды, анализ проводили в аттестованной лаборатории филиала ФГБУН ИВП РАН Иваньковская НИС (свидетельство аттестации №РОСС RU.001.518693). Анализ данных позволяет охарактеризовать качество вод тепловых стоков по температурным и химическим показателям. Тепловизерная съемка рекомендована заинтересованным специалистам, как метод оперативного мониторинга, для выявления тепловых стоков на водосборной территории водного объекта.

Ключевые слова: водные объекты, тепловые стоки, мониторинг, тепловизерная съемка, качество воды.

Под тепловыми стоками, автор статьи, понимает искусственно подогретые воды, переносящие тепло. Тепловые стоки оказывают влияние на гидрохимический и гидробиологический режимы водных объектов. Температурный фактор влияет на водно-миграционные процессы химических веществ, влияет на особенности развития и функционирования животных и растительных организмов (рыб, высшей водной растительности, фито- и зоопланктона), создает условия для внедрения инвазивных видов в экосистему водных объектов. Подогретые стоки, в большинстве своем, имеют в составе вод высокие концентрации загрязняющих веществ или их следы. Выделим две категории тепловых стоков: с тепловым и с тепло-химическим воздействием на водоток. Стоки с тепловым воздействием изменяют температурный режим водного объекта полностью, либо в локальной зоне контакта и рассеивания природных вод, но не оказывают прямого влияния на гидрохимический состав вод. Тепло-химические стоки изменяют температурный и гидрохимический режим водного объекта, качество воды стоков отличается от состава природных вод высокими концентрациями загрязняющих веществ.

Источники теплового и антропогенного загрязнения водных объектов можно выявлять с помощью мониторинговых исследований тепловых стоков. Изучение водосборной территории водного объекта при помощи спутниковых снимков, квадрокоптерной и тепловизерной съемки позволяет определить участки, подверженные возможному тепловому загрязнению. Наземная маршрутная съемка с отбором проб воды, замерами температуры и оценкой объема стока подтверждает факт теплового загрязнения. На сток могут быть документы, лимитирующие объем и качество сбрасываемых сточных вод. Если документы отсутствуют, то сток можно считать диффузным (неконтролируемым) стоком.

Измерение температуры в водном объекте можно осуществлять при помощи различных устройств: прямого контакта с водной средой (термометры, датчики), в инфракрасной области спектра без прямого контакта (пирометры и тепловизоры).

Тепловизор – прибор или совокупность приборов, предназначенных для преобразования теплового изображения объекта в видимое (ГОСТ Р 54852-2011, 2012 г.). За счет различий в радиационной температуре на разных участках водного объекта создается тепловое изображение. Температурные поля получают в виде термограмм псевдоцветного или монохромного изображения изотермических поверхностей, где градация цвета или яркости соответствует различным температурам. Используя ГОСТ Р 54852-2011, можно адаптировать понятие «метода тепловизерного контроля» под мониторинговые исследования тепловых стоков. Метод тепловизерного контроля теплового состояния водных объектов основан на дистанционном измерении тепловизером полей температур воды на поверхности водного объекта с визуализацией температурных данных на термограммах и последующим их анализом. Качественная информация, полученная при помощи тепловизера, позволяет выявить источник теплового загрязнения. Количественную информацию получают после анализа теплограмм. Неточности в получении информации по температурным данным возможны в результате неправильной настройки или калибровки прибора, поглощения части излучения воздушной средой и другими факторами (ГОСТ Р 54852-2011, 2012). Безконтактная тепловая съемка водосборной площади водных объектов позволяет оперативно выявлять участки сброса и распространения сточных воды, а также зоны выхода и распространения грунтовых вод, выявить тепловые эффекты в период ледостава.

Тепловая съемка осуществлялась автором тепловизером инфракрасным Testo-875-1i на водосборной площади Иваньковского водохранилища в зимний период. Характеристики тепловизера: диапазон измерений -20..+350 ^{0}C, погрешность измерений ±2 ^{0}C, для коррекции данных вручную выставили отражающую температуру – 4^{0}C, в соответствии с температурой воздуха, коэффициент излучения составил 0.93 единицы. Параллельно с замерами температурных показателей отбирали пробы с поверхностного слоя воды на химический анализ. Анализ проводили на ряд физико-химический показателей, по главным ионам, биогенным и органическим показателям, тяжелым металлам (всего 35 показателей).

Первой точкой наблюдения являлся сток с гаражного кооператива и территории бензоколонки (~ 100 тыс. м^2) в Иваньковское водохранилище. Длина стока около 150 метров, глубина не превышает 30 см. Замеры осуществлялись в 5 точках, температура воды на поверхности стока изменялась в интервале +2,5 - +3,1 ^{0}C, температура поверхности вмещающей среды, в данном случае – снега (15 замеров), составила в среднем -7,7 ^{0}C, температура воды в Иваньковском водохранилище +0,1 ^{0}C. После выявления теплового стока, были взяты пробы воды на химический анализ. Ранее (ноябрь 2017 г.) по данному стоку были получены средние температуры – +17 ^{0}C, температура в Иваньковском водохранилище составляла +3, 5 ^{0}C, температура воздуха +2^{0}C.

Химический анализ отобранных проб воды показал, что концентрации таких элементов как железо, ион аммония, марганец, нефтепродукты, медь, свинец и цинк выше значений ПДК рыбохозяйственного; зафиксированы высокие концентрации сульфатов и хлоридов, превышающие фоновые значения (табл. 1).

Второй точкой наблюдения являлся сброс сточных вод, который производится в приустьевой части р. Донховка. На этом участке водоток находится в подпоре Иваньковского водохранилища, течение реки замедляется, и стоки растекаются по акватории, образуя зону загрязнения. Длина стока около 30 метров, глубина не превышает 50 см. По документам сток проходит как ливневый сток со станции перекачки «Центральная» (площадь 2,2 тыс. м^2). Тепловой сброс сточных вод изучен в 2015 и 2018 годах. В 2015 году температура стока (расход 0,24 м^3/с) составила 19^{0}C, он имел неприятный запах, вода высокомутная, непрозрачная. В 2018 году проведено 5 замеров

температуры воды, которая изменялась в интервале +1,8 - +3,4 температура поверхности вмещающей среды, в данном случае – снега (13 замеров), составила в среднем -7,9 ^{0}C, температура воды в устье р. Донховка - +0,2 ^{0}C.

Табл. 1. Качество вод различных тепловых стоков ([1]ГН 2.1.5.1315-03, 2003 г.; [2]Приказ Росрыб., 2010 г.).

Наименование показателя, ед. измерения	Сток в			ПДК рыб.[2]/ЛПВ
	р. Донховка, 2015 г.	р. Донховка, 2018 г.	Иваньков. вдхр., 2018 г.	
pH, ед. pH	7.78	7.74	7.68	6.5-8.5[1]
T, ° C	19.0	6.5	4.0	-
Мутность	117.2	1.2	2.2	-
HCO_3^-, мг/дм^3	427.0	353.9	396.6	-
Ca^{+2}, мг/дм^3	52.9	104.2	132.2	180 / сан.-токс.
SO_4^{-2}, мг/дм^3	55.5	43.9	55.4	100 / сан.-токс.
Cl^-, мг/дм^3	49.0	30.6	61.3	300 / сан.-токс.
PO_4^{-3}, мг PO_4^{-3}/дм^3	11.3	0.086	0.103	0,15
$Fe_{общ.}$, мг/дм^3	0.14	0.11	0.11	0.1 / токс.
NH_4^+, мг/дм^3	48.8	0.17	4.2	0.5 / токс.
NO_3^-, мг/дм^3	1.2	6.5	7.7	40 / токс.
$БПК_5$, мгO_2/дм^3	-	0.8	1.3	2-4
ХПК, мгО/дм^3	155,5	-	-	30[1]
ПО, мгО/дм^3	40.7	2.4	7.1	-
Цветность	45	10	15	-
Mn^{2+}, мг/дм^3	0.20	0.75	0.75	0.01 / сан.-токс.
O_2, мгO_2/дм^3	0.9	8.1	7.3	<4[1]
Нефтепрод., мг/дм^3	0.23	0.06	0.13	0.05 / рыбх.
СПАВ, мг/дм^3	-	0.020	0.037	-
Цинк, мг/дм^3	-	0.0151	0.0191	0.01
Свинец, мг/дм^3	-	0.0169	0.0250	0.006
Медь, мг/дм^3	-	0.0039	0.0060	0.001
Хром, мг/дм^3	-	0.0016	0.0025	-

Анализ качества сточной воды в 2015 году (табл. 1) показал, что сток имеет повышенное содержание азота аммония (98 $ПДК_{рыб.}$) и фосфатов (75 $ПДК_{рыб.}$), а также органических веществ (значения ХПК составляли 5 $ПДК_{рыб}$) и нефтепродуктов (5 $ПДК_{рыб.}$). Были показателей железа (в 1,4 раза $ПДК_{рыб.}$) и марганца (в 20 раз $ПДК_{рыб.}$), высокие содержания кремния, сульфатов и хлоридов. Анализ качества воды того же стока в 2018 году выявил улучшения. Снизились концентрации соединений азота и фосфора, нефтепродуктов, вода стала менее мутной. Анализ на тяжелые металлы выявил превышения ПДК рыбохозяйственного по цинку, свинцу и меди. Загрязненность теплового стока не постоянная, можно предположить, что происходят залповые сбросы химических веществ в составе воды.

Соединения азота являются токсичными, и их высокое содержание негативно сказывается на качестве воды источника водоснабжения г. Москвы – Иваньковском водохранилище. Повышенные значения ХПК свидетельствуют о наличии большого количества органических веществ в воде. При окислении органики в речных водах расходуется большое количество кислорода, это приводит к дефициту кислорода, гибели рыб и низших аэробных организмов, в водотоке образуются безжизненные зоны. В местах сброса подогретых сточных вод происходит интенсивное зарастание мелководий теплолюбивыми и агрессивными неприхотливыми видами высшей водной растительности

(ВВР). ВВР предпочитает застойные, околобереговые неглубокие зоны. На водотоках наиболее часто встречаются кубышка желтая, осока, манник, тростник обыкновенный и ряска (Чекмарева Е.А., 2017).

Третья точка наблюдения - начало отводящего канала Конаковской ГРЭС. Проведено 11 замеров температуры воды, она изменялась в интервале +4,0 - +9,3 ^{0}C (средняя температура - +5,9 ^{0}C), температура поверхности вмещающей среды, в данном случае – снега, мостовых конструкций (17 замеров), составила в среднем -7,0 ^{0}C. Термограмма начала отводящего канала Конаковской ГРЭС представлена на рисунке 1.

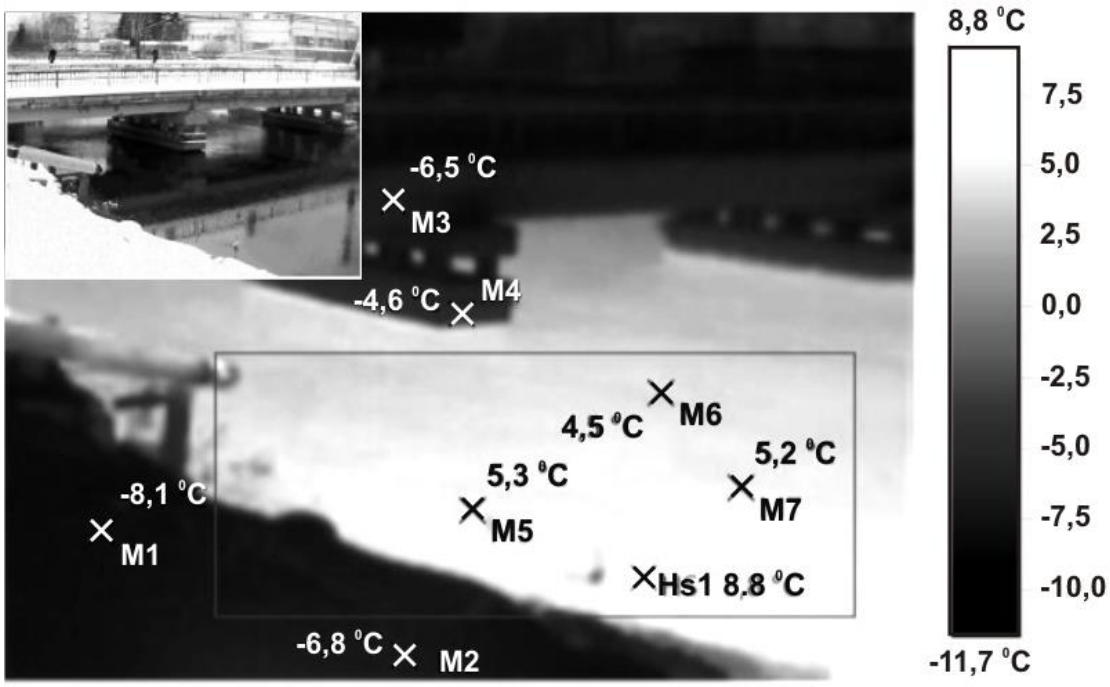


Рис. 1. Пример обработки термограммы отводящего канала с Конаковской ГРЭС

Четвертая точка наблюдения – это сброс воды с отводящего канала Конаковской ГРЭС в Мошковичский залив Иваньковского водохранилища. Проведено 6 замеров температуры воды, она изменялась в интервале +1,9 - +6,4 температура поверхности вмещающей среды, в данном случае – снега (10 замеров), составила в среднем -6,7 ^{0}C.

Влияние стоков на окружающее пространство зависит от ряда факторов: разность температур стока и подстилающей поверхности, теплозапас подогретых вод, испаряемость, скорость охлаждения и другие факторы. В зимний период стоки с маленькими расходами воды не оказывают сильного воздействия на водоём-приемник сточных вод, вода быстро охлаждается. При стоках большого объема, каким является сброс подогретых вод в Мошковический залив, влияние на водоемы и водотоки весьма ощутимо.

Зарубежные и отечественные авторы подробно изучают вопрос распространения тепловых стоков в местах сброса подогретых вод с электростанций. Подогретые воды полностью перемешиваются с природными водами, либо растекаются, постепенно смешиваясь и растворяясь в водоеме. Часто в водоеме, испытывающем тепловую нагрузку, происходит стратификационное разделение слоев воды, когда разность температур между выше и ниже лежащим слоем значительна. Изучение оборудованных водовыпусков позволяет определить форму растекания подогретых вод, детально изучить влияние на водный объект.

Диффузные тепловые стоки представляют опасность, как источники постоянной тепловой и химической нагрузки на водный объект. Необходимо развивать надзорный контроль за качеством воды тепловых стоков на водосборной территории водных объектов. Тепловизерная съемка удобна как средство оперативного мониторинга на водосборных территориях.

Для оценки воздействия тепловых стоков необходимо выполнять химический анализ природной и условно-загрязненной воды. Установлено, что зачастую тепловые стоки – это подогретые, аэрированные воды с высоким содержанием гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, соединений азота и фосфора, нефтепродуктов и тяжелых металлов.

В дальнейшем предполагается расширить список изучаемых объектов, использовать метеорологическое оборудование для получения количественных метеорологических характеристик, изучения микроклиматических изменений в зоне воздействия стоков.

Оценку воздействия тепловых стоков на речные воды предполагаем выполнять при помощи тепловых коэффициентов. Тепловые коэффициенты должны учитывать температуру вмещающей геологической среды и окружающего воздушного пространства, водной среды и стока с измененной температурой, включать коэффициенты испаряемости и теплоотдачи. Вышеупомянутые коэффициенты находятся в стадии разработки.

Список литературы

Никоноров А.М., Гидрохимия: учебник. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. С. 461

Чекмарева Е.А. Влияние термического режима на экологическое состояние малых притоков Иваньковского водохранилища // *экологический сборник 6: Труды молодых ученых Поволжья*. Тольятти: ИЭВБ РАН: Кассандра, 2017. С. 439

Здания и сооружения. Метод теплоизоляционного контроля качества теплоизоляций ограждающих конструкций // ГОСТ Р 54852-2011 (дата введения 15.12.2011), Москва: Стандартинформ, 2012. С. 19

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» // ГН 2.1.5.1315-03 (с изменениями ГН 2.1.5.2280-07 и СанПиН 2.1.5.980-00), Москва: Стандартинформ, 2003. С. 84

Об утверждении норматива качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения // Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 №20, Москва: Стандартинформ, 2010. С. 6

Monitoring of the impact of thermal effluents in the catchment areas of water bodies

Chekmareva E.A.
Water Problems Institute of Russian Academy of Science, Moscow, Russia
s_taya@list.ru

Abstract: Watersheds with high anthropogenic load are characterized by polluted drains, which are characterized by high temperatures relative to natural water bodies. Heat-carrying drains change the temperature characteristics of water bodies and watercourses. Often, pollutants are present in their composition, which affects the hydrochemical regime of the water body. The author of the article fixed the temperature characteristics of several heat drains by contact method using a water thermometer, and non-contact method in the infrared region of the spectrum, using a thermal imager. In parallel, a thermal survey was collected water samples, analysis was performed in a certified laboratory of the branch of Water Problems Institute of Russian Academy, Ivankovo NIS (certificate of attestation №ROSS RU.001.518693). Data analysis allows to characterize the water quality of thermal effluent on the temperature and chemical characteristics. Thermal imaging is recommended to interested specialists as a method of operational monitoring to detect thermal

Keywords: water, thermal effluents, monitoring, teplosernaya survey, water quality.

Гидролого-гидрохимические исследования водных объектов Кабардино-балкарского высокогорного заповедника

Шарапова Е.О.*, *Ефимова Л.Е.*, *Льюмменс Л.*, *Ломов В.А.
МГУ имени М.В.Ломоносова, г.Москва
koshakosha97@gmail.com

Аннотация: Территория высокогорного Кабардино-Балкарского заповедника, включающая верховья бассейнов рек Чегем, Черек и их притоков, удалена от источников антропогенного влияния. Это дает возможность оценить фоновые гидрохимические показатели водных объектов, а также продвинуться в решении важной в научном и практическом отношении задачи – создании системы регионального мониторинга качества поверхностных вод.

Данные о химическом составе воды, полученные в ходе экспедиций 2017 г., позволили изучить особенности формирования химического состава воды рек на территории заповедника. Гидрохимический анализ включал в себя полевые измерения pH, электропроводности и мутности воды, определение концентраций главных ионов, биогенных элементов (Si и P), микроэлементов (Fe, Mn и Cu).

В процессе исследования решалась задача выявления генезиса вод в разных речных бассейнах. Наиболее информативными гидрохимическими показателями оказались электропроводность, мутность воды, содержание кремния. По совокупности значений этих характеристик удалось выделить несколько типов вод, отличающихся друг от друга преобладанием определенного типа питания: смешанные, ледниковые, грунтовые, и талые воды. Несмотря на то, что в воде большинства водных объектов преобладают гидрокарбонаты и ионы кальция, в разных речных бассейнах отмечены различия в составе главных ионов, содержании железа и марганца. Состав пород, слагающих водосбор, и глубина вреза водотока определяет изменения в химическом составе воды. Относительно повышенное содержание микроэлементов литогенного происхождения (Fe, Mn, SO_4) характерно для ряда притоков р.Черек Балкарский. Минерализация воды закономерно увеличивается вниз по течению небольшой реки р.Мижирги, притоки которой имеют одинаковый генезис. Для более крупных речных бассейнов Чегема и Черека четкая тенденция не выявляется, поскольку эти реки принимают притоки как подземного, так и ледникового генезиса. Водотоки могут менять свой генетический тип как по времени (в течении суток), так и в пространстве (при удалении от ледника река переходит от ледникового питания к смешанному).

Многодневные комплексные гидрометеорологические наблюдения на реках Безенги и Мижирги выявили характерные колебания в противофазе электропроводности и уровня воды в реке, обусловленные изменением ее водности при выпадении осадков и дневном таянии ледников в верховьях бассейна.

Ключевые слова: качество воды, параметризация, экологическое состояние, анализ чувствительности, загрязнение водных объектов

Введение

Реки высокогорной зоны Чегем, Черек, их притоки, играют важную роль в формировании гидролого-гидрохимического режима крупных рек Баксан и Терек. Исследование водных объектов, расположенных на территории удаленной от источников антропогенного воздействия, сохраняющих естественный гидрохимический фон, позволяет получить информацию необходимую при разработке региональных показателей качества воды. Отсутствие на территории заповедника постоянной сети наблюдений за

гидрохимическими и гидрологическими характеристиками водных объектов повышает значимость комплексных экспедиционных работ.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили данные, полученные в ходе комплексных работ, проводившихся на территории заповедника в июле и сентябре 2017 г. силами студентов и преподавателей кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ. Были изучены водные объекты в бассейнах рек Черек Балкарский, Черек Безенгийский, Чегем, Мижирги, Безенги, составлено их гидрографическое описание. Полевые исследования включали в себя определение pH, электропроводности и мутности воды, в которых после фильтрования и консервации было выполнено определение солевого состава, биогенных элементов (Si и P) и микроэлементов (Fe, Mn и Cu) (Комарова Н.В. и др, 2006; Руководство по химическому анализу, 2003).

Результаты и обсуждение

Гидрографическая сеть на территории заповедника очень разветвлена, она включает в себя как основные реки, так и их многочисленные притоки. Водный режим рек формируется главным образом под воздействием таяния ледников и высокогорных снегов. Значительную роль в питании рек играют подземные воды, а роль дождевых осадков невелика.

Исследованные реки можно отнести к типично горным. Химический состав вод бассейнов Черек Балкарский, Чегем, Черек Безенгийский, Мижирги в высокогорной части, где отсутствует антропогенное воздействие, формируется только под влиянием природных факторов. Это выщелачивание химических элементов из горных пород и почв и их поступление с атмосферными осадками и талыми ледниковыми водами. Разрушение горных пород, происходящее в результате многократного промерзания – оттаивания, приводит к поступлению химических элементов в воду. Одновременно с физическим выветриванием горных пород происходит их химическое выветривание, которое сводится к химическим реакциям окисления и гидролиза (Газаев Х.-М. и др, 2016).

Время проведения экспедиции совпало с периодом максимального стока рек, что обусловило минимальные величины минерализации воды, которая не превышала 200 мг/л и была в 1,5 – 2 раза меньше, чем наблюдаемая в зимнюю межень (Газаев Х.-М. и др, 2015).

Проведенные исследования позволили выявить генетические особенности вод в разных речных бассейнах. Наиболее информативными гидрохимическими показателями оказались электропроводность, мутность воды, содержание кремния. По совокупности значений этих характеристик удалось выделить несколько типов вод, отличающихся друг от друга преобладанием определенного типа питания: смешанные, ледниковые, грунтовые, и талые воды. Для водотоков, имеющих преимущественно подземное питание, характерны: электропроводность воды больше 40 мкСм/см, мутность – менее 200 NTU. Содержание кремния в них колеблется от 2 до 5 мг/л.

Выраженное ледниковое питание имеет около 25 % водотоков. Ледники и снежники в теплый период года питают огромное количество ручьев, размывающих тонкодисперсный материал моренных валов, горные породы и почвы. Их воды отличаются повышенной мутностью (достигающей 2500 и более NTU). Электропроводность воды, напротив, невысока – от 0 до 60 мкСм/см. Содержание кремния не превышает 1,6 мг/л.

Водотоки, сформировавшиеся непосредственно из талых вод и протекающие по поверхности ледника, но не имевшие контакта с моренным материалом, отличаются очень низкими величинами электропроводности (менее 10 мкСм/см) и мутности (менее 20 NTU). Содержание кремния в этой воде составляет 0.5-0.6 мг/л. Их отличие от ледниковых вод заключается в том, что их состав наиболее близок к атмосферным осадкам.

Смешанный тип вод характерен для более половины водотоков. В питании вод отсутствует выраженное преобладание подземного или ледникового питания. Электропроводность воды колеблется от 20 до 100 мкСм/см, ее мутность изменяется от 200 до 800 NTU.

Поверхностные воды в высокогорной части обследованных рек по классификации О.А. Алекина относятся к пресным и ультрапресным гидрокарбонатным кальциевым водам II типа. Содержание гидрокарбонатов в большинстве водных объектов превышает 30 %-экв/л, достигая 47%-экв/л в водах, имеющих подземное питание. Содержание кальция в среднем составляет 30-45 %-экв/л. Несмотря на схожий химический состав воды, в разных речных бассейнах отмечены различия в солевом составе главных ионов, содержании железа и марганца, обусловленные составом пород, слагающих водосбор (рис.1). Если среди катионов практически повсеместно преобладает ион кальция, то по анионному составу выделяются пробы с преобладанием сульфатов. Большая часть таких вод, отмечена в бассейне р. Черек-Балкарский. В водах этого бассейна наблюдается также повышенное (относительно вод других бассейнов) содержание марганца (38-45 мкг/л).

Воды с незначительным преобладанием сульфатов встречаются в бассейнах рек Безенги и Чегема, однако в среднем содержание сульфатов не превышает 15 %-экв/л. В водах, имеющих ледниковое или смешанное питание, отношение Alk/SO_4 может меняться как по времени (в течении суток), так и в пространстве (при удалении от ледника река переходит от ледникового питания к смешанному). Концентрация хлоридов очень мала, часто не больше 2 %-экв/л. Ион кальция имеет меньшую концентрацию, чем ион кальция (15-17 %-экв/л), а относительное содержание калия и натрия не превышает 5 %-экв/л.

Минерализация воды закономерно увеличивается вниз по течению только в небольших реках (р.Мижирги), притоки которых имеют одинаковый генезис. Для более крупных речных бассейнов (Чегема и Черека) четкая тенденция не выявляется, поскольку эти реки принимают притоки как подземного, так и ледникового генезиса.

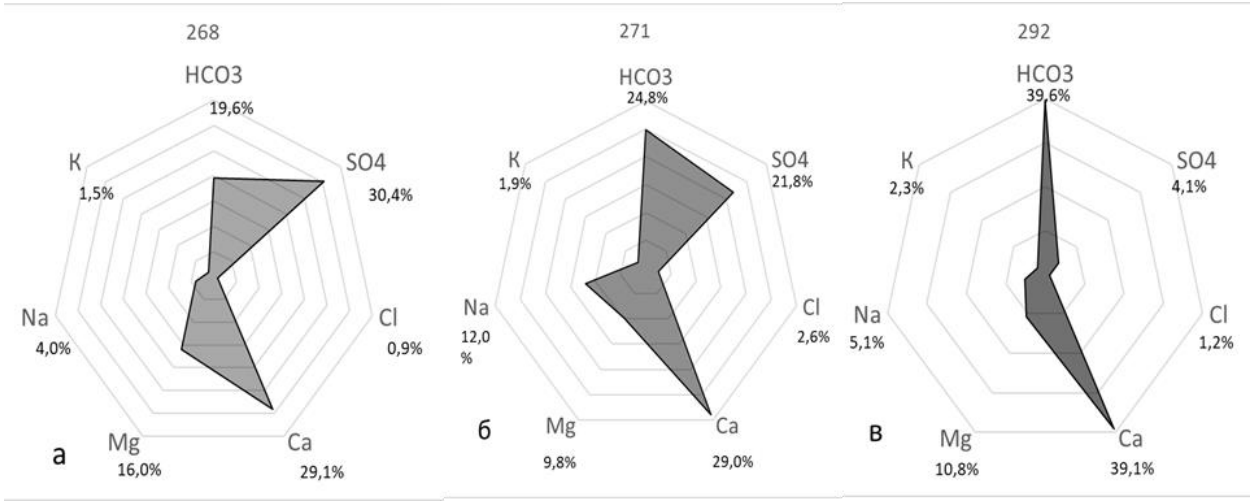


Рис. 1. Диаграммы солевого состава речных вод, имеющих разное питание (а) смешанное; б) ледниковое; в) подземное)

Многодневные комплексные наблюдения на реках Безенги и Мижирги выявили хорошо выраженный суточный ход температуры воздуха и чуть более сглаженный – воды, а также характерные колебания в противофазе электропроводности и мутности воды в реке, обусловленные изменением ее водности при дневном таянии ледников.

В речных водах горных районов большая часть микроэлементов мигрирует во взвешенном состоянии. Поэтому концентрации растворенных форм невелики.

Содержание железа в водах заповедника в среднем изменяется в диапазоне от 200 (при смешанном питании) до 800 мкг/л (при питании подземными водами). Содержание марганца в речной воде на порядок меньше, характеризуется меньшим диапазоном концентраций (23-45 мкг/л). Оба элемента имеют литогенное происхождение, а относительно повышенное содержание железа связано с поступлением подземных вод из более глубоких горизонтов. Содержание меди в водах заповедника в целом не превышает 4 мкг/л, причем минимальные концентрации характерны для водотоков с преобладающим подземным питанием (менее 1 мкг/л). Наибольшее содержание меди (10 мкг/л), отмечено в притоках Черека Балкарского, в воде которых отмечались и относительно повышенные концентрации сульфатов и марганца.

Выводы

1. Химический состав и минерализация воды водных объектов в высокогорной части горных рек можно считать фоновыми для данной территории.
2. Совместный анализ гидролого-гидрохимических показателей позволил выделить три основных генетических типа вод.
3. Водотоки могут менять свой генетический тип как по времени (в течении суток), так и в пространстве.

Лабораторные работы выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00155).

Список литературы

Газаев Х.-М., Атабиева Ф.А., Кучменова И.И., Жинжакова Л.З. Пространственно-временная изменчивость показателей качества воды высокогорной реки Чегем // *Водное хозяйство России*, № 3 2016 г., с.73-77

Газаев Х.-М., Атабиева Ф.А., Кучменова И.И., Жинжакова Л.З. Гидролого-гидрохимические характеристики ледниковой реки Черек Балкарский // *Вода: химия и экология*, 2015 г., № 4, с.36-43

Комарова Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель». СПб.: ООО «Веда». 2006. 212 с.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 202 с.

Hydrological and hydrochemical research of water objects in Kabardino- Balkarian highland reserve

Sharapova E.O.*, *Efimova L.E.*, *Leummens L.*, *Lomov V.A.
Moscow State University, Moscow
koshakosha97@gmail.com

Abstract: The area of Kabardino-Balkarian alpine reserve, including up-river territory of Chegem, Cherek and their tributaries basins, is located far from any sources of anthropological influence. Which is why we have a possibility to measure natural hydrochemical characteristics of water objects and as a result advance in researching both scientifically and practically important problem – creating of regional water quality monitoring system.

The water chemical composition data gathered from expeditions held in 2017 has helped to learn features of the processes of its formation inside the reserve area. Hydrochemical analysis included field measurement of pH, electrical conductivity and turbidity, and also further determination of main ion, biogenic (Si, P) and microelements (Fe, Mn, Cu) concentration.

The research was carried out in order to solve the problem of revealing the genesis of waters in different river basins. In this case the most informative hydrochemical indicators were electrical conductivity, turbidity of water, silicium amount. Values of all these characteristics combined make it possible to distinguish several types of water, differing from each other by the predominance of a certain type of nutrition: glacial, ground, melted and mixed waters. Despite the fact that most of the water bodies are dominated by hydrocarbonates and calcium ions, differences in the composition of the main ions, the content of ferrum and manganese, are noted in different river basins. The composition of the rocks that form the catchment area and the depth of the stream inflow determine the changes in the chemical composition of the water. The relatively high content of microelements of lithogenic origin (Fe, Mn, SO_4) is typical to some tributaries of the river Cherek Balkarsky. The mineralization of water naturally increases downstream the small river of the Migirgi River, whose tributaries share the same genesis. For the larger river basins of Chegem and Cherek, a clear trend is not evident, since these rivers take tributaries of both underground and glacial genesis. Streams can change their genetic type both in time (during the day) and in space (when moving away from the glacier the river passes from glacial nutrition to mixed one).

Multi-day complex hydrometeorological observations on the Bezengi and Mizhirgi rivers revealed fluctuations in the antiphase of electrical conductivity and water level in the river, caused by changes in its water content during precipitation and daytime melting of glaciers in the upper reaches of the basin.

Keywords: water quality, parametrization, ecological statement, sensitivity analysis, water pollution

Проблема доступа к чистой питьевой воде в Арктической зоне Российской Федерации

Шестакова Е.Н.
Санкт-Петербургский государственный университет
Арктический и антарктический научно-исследовательский институт
Санкт-Петербург
lenny.marlya.spb@gmail.com

Аннотация: Свободный равноправный доступ к чистой питьевой воде является одной из 17 целей устойчивого развития, намеченных ООН до 2030 года. Решение проблем в данном направлении актуально не только для развивающихся стран, но также и для стран арктической восьмёрки. Рабочая группа по устойчивому развитию в Арктическом совете в рамках проекта WASH на основе масштабного опроса провела исследование, направленное на оценку доступа к питьевой воде и канализации, и выявило, что в большинстве Арктических стран наблюдаются положительные тенденции в данном направлении, однако достоверность полученных данных находится в ряде случаев под вопросом. К настоящему моменту, широко изучено химическое и биологическое загрязнение материковых вод Арктики, однако до сих пор ряд вопросов о доступе населения к чистой питьевой воде остаётся открытым.

В связи с этим целью настоящей работы является выявление проблем доступа к чистой питьевой воде в Арктической зоне Российской Федерации. Материалами исследования послужили региональные доклады о санитарно-эпидемиологической обстановке, а также схемы водоснабжения и водоотведения населённых пунктов.

Сформулированы и проиллюстрированы основные проблемы доступа к чистой питьевой воде в Арктической зоне Российской Федерации, в том числе ограниченность доступа к водным ресурсам, ограниченность дебита источников водоснабжения в районах распространения вечной мерзлоты, неразвитость систем водоподготовки и неудовлетворительное состояние водопроводных сетей. Отмечается, что в связи с очаговым развитием природопользования в Арктике, проблема водообеспеченности и доступности питьевой воды должна рассматриваться в пределах основных ареалов расселения. Предлагается разработать комплексную методику оценки доступа к питьевой воде на основе данных населённых пунктов с целью дальнейшей пространственной классификации вне административно-территориальных границ.

Ключевые слова: питьевая вода, Арктическая зона, качество вод, водоподготовка, водоснабжение.

Введение

Значение питьевой воды в жизни человека сложно переоценить, и понимание этого факта существует как на бытовом уровне, так и на уровне научных и проектных организаций, экономических сообществ и политических структур.

Согласно новой «Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» (Преобразование нашего мира, 2015), обеспечение рационального использования водных ресурсов является одной из 17 целей устойчивого развития. Для достижения цели поставлен целый ряд задач, в том числе к 2030 году обеспечить всеобщий и равноправный доступ к питьевой воде, повысить качество воды, повысить эффективность водопользования и обеспечить подачу пресной воды для сокращения числа людей, страдающих от нехватки воды и другие.

Решение этих вопросов кажется актуальным только для стран аридной и семиаридной зон, однако проблема водной безопасности населения северных регионов отмечается в различных обзорах и аналитических отчётах, в том числе в Arctic Human Development Report (2004, 2014), отчётах по проектам «Арктические социальные показатели» (ASI, 2015) и «Обследование условий жизни в Арктике» (Poppel et al., 2007). Кроме того, международные группы исследователей разработали индикаторы оценки здоровья населения Арктики, включающие в себя показатели наличия воды на душу населения, доступность водоснабжения, количество заболеваний, передаваемых водным путём, загрязнители питьевой воды, наличие контроля качества воды и планов по обеспечению безопасности воды (Nilsson et al., 2013).

В региональном докладе (Arctic Human Development Report, 2014) указывается, что в Арктике наблюдаются тенденции в снижении продовольственной безопасности, включающей в себя, в том числе и водную безопасность как основу жизнеобеспечения населения. Причинами таких негативных тенденций считают как изменения в социально-экономическом развитии северных регионов, так и изменения окружающей среды. Другие результаты получены в рамках проекта «Improving Health in Arctic Communities through Safe and Affordable Access to Household Running Water and Sewer: Water, Sanitation and Health» (WASH), проводимого рабочей группой по устойчивому развитию в Арктическом совете. На основе масштабного опроса, направленного на оценку доступа к питьевой воде и канализации, было установлено, что в большинстве Арктических стран наблюдаются положительные тенденции в количественном отражении исследуемых показателей. Поскольку ответы респондентов не были получены из России, о ситуации в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) сложно достоверно судить (Results of an Arctic…, 2017).

Наиболее полно ситуация в Российской Арктике освещена в работах А.А. Дударева и соавторов (Dudarev et al., 2013). На основе официальных статистических данных проведён анализ показателей потребления воды, химического и биологического загрязнения источников водоснабжения и количественных характеристиках конкретных химических и биологических загрязнителей в питьевой воде. В результате, установлено, что для источников водоснабжения северных регионов России характерен высокий уровень химического и биологического загрязнения.

Целью настоящей работы является выявление проблем доступа к чистой питьевой воде в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ).

Материалы и методы

Материалами исследования послужили региональные и федеральные доклады о санитарно-эпидемиологической обстановке и охране окружающей среды, схемы комплексного использования и охраны водных объектов, а также схемы водоснабжения и водоотведения населённых пунктов (АЗРФ).

Основными методами исследования являются общенаучные методы анализа и синтеза информации.

Результаты

Анализ докладов о санитарно-эпидемиологической обстановке регионов, относящихся к АЗРФ, согласно Указу Президента (2014), показал, что помимо непосредственного загрязнения источников водоснабжения, отмечаемого в предшествующих работах, существует целый ряд проблем, с которыми сталкивается местное население.

Несмотря на то, что Арктика считается регионом с высокой водообеспеченностью, в некоторых районах наблюдается ограниченность доступа к водным ресурсам, что в случае аварийных ситуаций создаёт проблемы для коммунальных хозяйств. Ярчайшим примером является ситуация, сложившаяся в городе Певек. Для водоснабжения города, как технчисекого, так и хозяйственно-бытового, на ручье Певек была сооружена плотина,

однако в 2012 году на ней сложилась аварийная авария, повлекшая за собой капитальный ремонь. В связи с этим, водоснабжение города осуществляется при использовании опреснительной установки морской воды, а также путем завоза воды автоцистернами (Об утверждении схем водоснабжения и водоотведения города Певек…, 2016).

Другой проблемой является проблема доступа к питьевой воде в районах распространения вечной мерзлоты, где дебит источников водоснабжения может быть ограничен, из-за чего они иногда имеют сезонный характер. В Якутии до 23 % населения получают привозную воду.

Неразвитость систем водоподготовки также достаточно актуальна для регионов АЗРФ. Так, в Чукотском Автономном округе отсутствует водоподготовка в большинстве населённых пунктов, в том числе таком как пгт Эгвекинот, являющегося районным центром Иультинского района с населением более 5 тыс. человек (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Чукотском…, 2017). В городе Лабытнанги Ямало-Ненецкого автономного округа также отсутствует комплекс водоподготовки, а в городах Салехард, Тарко-Сале и Ноябрьске на водоочистных сооружениях подготовка питьевой воды признана неэффективной (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Ямало-Ненецком…, 2017). В Якутии из 49 водопроводов из поверхностных источников в 2016 году не соответствовали требованиям санитарного законодательства 73,4 %, в том числе некоторые из них из-за отсутствия необходимого комплекса очистных сооружений и обеззараживающих установок (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Саха…, 2017).

Также, к актуальной проблеме может быть отнесено вторичное загрязнение вод за счёт загрязнения из сетей водоснабжения. В Чукотском автономном округе от 40 до 80% водопроводов нуждается в замене (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Чукотском…, 2017).

Несоблюдение режимов санитарной охраны различается по регионам. В Ямало-Ненецком Автономном округе этот показатель ниже среднероссийского, и составляет 40% (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Ямало-Ненецком…, 2017).

Таким образом, только 12,3 % населения Республики Саха обеспечены доброкачественной водой, а 74,8% населения – к условно-доброкачественной (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Саха…, 2017). В Архангельской области эти показатели отличаются – доля населения, обеспеченного доброкачественной питьевой водой достигает 25%, а условно доброкачественной водой – до 52% (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Архангельской области, 2017). В Мурманской области доброкачественной питьевой водой было обеспечено 17,6 % населения (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Мурманской области, 2017).

Стоит отметить, что анализ всех вышеперечисленных проблем в пределах регионов значительно затруднён в связи с локальным распространением хозяйственной деятельности. Это обуславливает необходимость разработки комплексной методики оценки доступа к питьевой воде на основе данных конкретных населённых пунктов во избежание интерполяции исследуемых характеристик в пределах неоднородных административных районов.

Выводы

В настоящей работе сформулированы и проиллюстрированы основные проблемы доступа к чистой питьевой воде в Арктической зоне Российской Федерации. К ним могут быть отнесены ограниченность доступа к водным ресурсам, ограниченность дебита

источников водоснабжения в районах распространения вечной мерзлоты, неразвитость систем водоподготвоки и неудовлетворительное состояние водопроводных сетей.

Предлагается разработать комплексную методику оценки доступа к питьевой воде на основе данных населённых пунктов с целью дальнейшей пространственной классификации вне административно-территориальных границ.

Список литературы

О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Ямало-Ненецком автономном округе в 2016 году. Доклад. Салехард, 2017:237.

О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Мурманской области в 2016 году. Материалы для государственного доклада / под ред. Л.А. Лукичёвой. Мурманск, 2017:233.

О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Архангельской области в 2016 году. Государственный доклад / под ред. Р.В. Бузинова. Архангельск, 2017: 150.

О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Саха (Якутия) в 2016 году. Государственный доклад. Якутск, 2017: 232.

О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Чукотском автономном округе в 2016 году. Материалы государственного доклада. Анадырь, 2017: 122.

О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации. Указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 (в редакции Указа Президента РФ 27.06.2017 г. № 287) [Электронный ресурс]. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377 (дата обращения: 01.02.2018).

Об утверждении схем водоснабжения и водоотведения города Певек городского округа Певек Чукотского автономного округа до 2030 года. Постановление Администрации городского округа Певек от 12.08.2016 № 476.

Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года [Электронный ресурс]. URL: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=R (дата обращения: 01.02.2018).

AHDR (Arctic Human Development Report) Akureyri: Stefansson Arctic Institute, 2004. 242 pp.

Arctic Human Development Report. Regional Processes and Global Linkages. Copenhagen: Nordisk Ministerråd, 2014:500.

ASI. Arctic Social Indicators II: Implementation. TemaNord. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2015:328. http://dx.doi.org/10.6027/TN2014-568.

Dudarev, A. A., Dushkina, E. V., Sladkova, Y. N., Alloyarov, P. R., Chupakhin, V. S., Dorofeyev, V. M., Kolesnikova T.A., Fridman K.B., Evengard B., Nilsson L. M. Food and water security issues in Russia II: water security in general population of Russian Arctic, Siberia and Far East, 2000–2011 // International journal of circumpolar health, 72 (1), 2013: 22646, DOI: 10.3402/ijch.v72i0.22646.

Nilsson L.M., Berner J., Dudarev A., Mulvad G., Odland J.O., Rautio A., Parkinson A., Tikhonov C., Evengård B.Selecting indicators of food and water security in the Arctic health context – results from an international workshop discussion // International Journal of Circumpolar Health, №72, 2013: 21530. http://dx.doi.org/10.3402/ijch.v72i0.21530.

Poppel B., Kruse J., Duhaime G., Abryutina L. Survey of Living Conditions in the Arctic: SLiCA Results. Anchorage: Institute of Social and Economic Research, University of Alaska Anchorage. 2007. URL: http://www.arcticlivingconditions.org/ (дата обращения: 01.02.2018).

Results of an Arctic Council Survey on Water and Sanitation Services in the Arctic. 2017: 11.

The problem of access to safe drinking water in the Arctic zone of the Russian Federation

Shestakova E.N.
St. Petersburg State University, St. Petersburg
Arctic and Anarctic Research Institute, St. Petersburg
lenny.marlya.spb@gmail.com

Abstract: Free equitable access to safe drinking water is one of the 17th sustainable development goals identified by the UN until 2030. Solving problems in this direction is relevant not only for developing countries, but also for eight arctic countries. The Sustainable Development Working Group of the Arctic Council conducted a study on the basis of a large-scale survey in the framework of the WASH project aimed at evaluation of access to drinking water and sanitation. It found that in most Arctic countries there are positive trends in this parameter, but the reliability of the data is in a number of cases are questionable. To date, the chemical and biological pollution of the Arctic continental waters has been extensively studied, but a number of questions about the access of the population to clean drinking water remain open.

In this regard, the purpose of this paper is to identify problems of access to safe drinking water in the Arctic zone of the Russian Federation. The materials of the study were regional reports on the sanitary and epidemiological situation, as well as water supply and sanitation schemes for settlements.

The main problems of access to clean drinking water in the Arctic zone of the Russian Federation are formulated and illustrated. They include limited access to water resources, limited water flow rates in permafrost areas, underdeveloped water treatment systems and insufficient condition of water supply networks. Due to the focal development of nature management in the Arctic, the problem of water availability and accessibility of drinking water should be considered within the main populated areas. It is proposed to develop a comprehensive methodology for evaluation an access to drinking water based on the data of settlements with a view to further spatial classification outside the administrative and territorial boundaries.

Keywords: drinking water, Arctic zone, water quality, water treatment, water supply

Оценка ионного стока притоков Можайского водохранилища при различной обеспеченности данными наблюдений

***Якимова А.И.*, Соколов Д.И.**
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
anyakimova96@gmail.com

Аннотация: Цель настоящей работы – оценить, насколько результат расчета годового ионного стока реки чувствителен к полноте исходных данных и особенностям расчетной методики. Основой для расчетов могут служить материалы отдельных исследований (от единичных измерений до детальных продолжительных наблюдений) или регулярного мониторинга (от нескольких раз в год до ежесуточного), а при отсутствии фактических данных – литературные обобщения или эмпирические связи ионного и водного стока. Количественной характеристикой содержания в воде растворенных ионов может служить минерализация (сумма ионов) или удельная электропроводность воды. Чтобы выяснить, как расчетная величина ионного стока зависит от количества, качества исходных данных и подхода к их интерпретации, выполнена серия оценок ионного стока основных притоков Можайского водохранилища – рек Москвы и Лусянки по данным детальных исследований 1984, 2012 и 2016 гг. Сравнение результатов выполненных оценок показало, что они существенно зависят не столько от объема исходных данных, сколько от метода их интерпретации. При снижении частоты мониторинга с 8 до 2 раз в месяц оценка годового ионного стока изменяется лишь на 5%, до 1 раза в фазу гидрологического режима – на 8%. Использование эмпирических связей минерализации (или электропроводности) с расходом воды, полученных по данным более ранних исследований, занижает оценку ионного стока для более поздних лет (до 30%), в то время как связь по данным 2012 г. демонстрирует свою высокую эффективность для 2016 г. Погрешности оценок годового ионного стока по литературным обобщениям не превышают для 1984 и 2012 гг. ±6%, а для 2016 г. достигают 20% (скорее всего, из-за гидрометеорологических особенностей года). Оценка по среднегодовому значению минерализации, как правило, ниже, чем по сезонным. При этом оценки по среднеарифметическим значениям минерализации существенно выше, чем по средневзвешенным (в среднем на 15–20% при расчете по сезонным значениям и на 35–75% по среднегодовому).

Ключевые слова: ионный сток, оценка стока, минерализация, сумма ионов, электропроводность, оценка погрешности

Введение

Ионный сток реки – количество истинно растворенных минеральных веществ в ионной форме, выносимых рекой с водосбора за тот или иной период. Достоверность его оценки во многом зависит от объема, надежности исходных данных, а также от методики выполнения расчетов.

Данные гидрохимических наблюдений могут существенно различаться по характеру. Количественной характеристикой содержания в воде растворенных ионов может служить минерализация (определяемая чаще всего как сумма главных ионов) или удельная электропроводность воды (в таком случае потребуется эмпирическая связь ее с минерализацией).

При отсутствии наблюдений в период, для которого требуется рассчитать ионный сток, для приблизительных оценок могут быть использованы характерные сезонные или среднегодовые концентрации ионов (среднеарифметические, средневзвешенные по

объему водного стока и т.п.), а также эмпирические связи минерализации с расходом воды, полученные по материалам прежних исследований на водном объекте.

Цель настоящей работы – оценить, насколько результат расчета годового ионного стока реки чувствителен к полноте исходных данных и особенностям расчетной методики. В качестве объекта исследования выбраны реки Москва и Лусянка – основные притоки Можайского водохранилища (55°35’ с.ш., 35°50’ в.д.), входящего в систему Москворецкого источника водоснабжения г. Москвы (Гидроэкологический…, 2015). Их гидрологический и гидрохимический режим – один из наиболее изученных в Подмосковье благодаря деятельности Красновидовской лаборатории по изучению водохранилищ МГУ (ныне – учебно-научная база, далее по тексту –Красноидовская УНБ).

Материалы и методы

Оценка ионного стока выполнена по данным трех лет разной водности: средневодных 1984 и 2016 гг. (суммарный поверхностный сток с водосбора Можайского водохранилища W = 263 и 287 млн м^3 соответственно) и многоводного 2012 г. (W = 360 млн. м^3). В эти годы на р. Москве в створе действующего поста Росгидромета у деревни Барсуки (площадь водосбора F = 755 км^2) и на р. Лусянке неподалеку от действующего поста д. Черники (F = 170 км^2) проводились детальные гидрохимические наблюдения, включавшие измерение удельной электропроводности воды κ_{18}, приведенной к температуре 18 °С.

Частота наблюдений различна для разных лет и разных фаз гидрологического цикла. В период весеннего половодья измерения в 1984 и 2016 гг. осуществлялись ежедневно, в 2012 г. – каждые 2–3 дня. Во время отдельных дождевых паводков в 1984 г. электропроводность измеряли ежедневно, в 2016 г. – 1 раз в 1–3 дня, в 2012 г. – реже. Летне-осенний и зимний меженные периоды характеризуются менее подробными наблюдениями: в 1984 году – в среднем 2 раза в неделю, в 2016 г. – 1 раз в декаду, в 2012 г. – 1 раз в две недели. Всего в 1984, 2012 и 2016 гг. выполнено соответственно примерно по 100, по 35 и по 60 определений электропроводности речной воды на каждой реке. Такая обеспеченность данными позволяет как минимум для 1984 г. применить линейную интерполяцию для восстановления ежесуточных значений электропроводности, а расчет ионного стока, основанный на этой интерполяции, считать наиболее достоверным и принять в качестве «эталона». Тогда погрешности остальных вариантов расчетной методики можно количественно оценить, сопоставляя результаты с «эталонным».

Оценки годового ионного стока производили по формуле $R_И = \Sigma(W_i \times C_i)$, где W – объем водного стока за период дискретизации расчета (в зависимости от используемых данных – сутки, фаза водного режима, сезон, год), C – средняя за этот период концентрация растворенных ионов (в отдельной серии расчетов сопоставлены результаты использования среднеарифметических и средневзвешенных по объему воды значений).

Наряду с массивами фактических данных в данной работе опробованы 4 зависимости (*1–4*) показателей речного ионного стока от расхода воды, полученные по данным разных лет, а также использованы опубликованные в литературе средние за сезоны и за год значения минерализации вод рассматриваемых рек (Комплексные…, 1985).

$$\Sigma u = 440{,}9 \cdot (Q + 0{,}42)^{-0{,}378} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Sigma u = 419{,}7 \cdot Q^{-0{,}34}, \text{р. Москва} \\ \Sigma u = 283{,}5 \cdot Q^{-0{,}38}, \text{р. Лусянка} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \kappa_{18} = 534{,}83 \cdot (Q + 1.70)^{-0{,}369}, \text{р. Москва} \\ \kappa_{18} = 361{,}26 \cdot (Q + 0{,}44)^{-0{,}374}, \text{р. Лусянка} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \kappa_{18} = 517{,}204 \cdot Q^{-0{,}350}, \text{р. Москва} \\ \kappa_{18} = 406{,}39 \cdot Q^{-0{,}438}, \text{р. Лусянка} \end{cases} \quad (4)$$

Связь минерализации и расхода воды (*1*) для р. Москвы (Пуклаков и Пуклакова, 2013) основана на данных эпизодических наблюдений Росгидромета в 1950–1970-е гг. (72 определения суммы ионов). Связи минерализации и расхода воды (*2*) для р. Москвы (107 определений) и р. Лусянки (90 определений) получены по данным наблюдений Красновидовской УНБ в 1968–1969 гг. (Комплексные…, 1979). Связи электропроводности с расходом воды (*3*) получены по результатам детальных наблюдений в 1983–1984 году (более 100 измерений на каждом притоке), выполненных Красновидовской УНБ (Пуклаков и Пуклакова, 2003). Связи электропроводности и расхода воды (*4*) получены по результатам наблюдений Красновидовской УНБ в 2012–2013 гг. (по 35 определений электропроводности на р. Москве и р. Лусянке).

Для взаимного пересчета значений электропроводности и минерализации использована зависимость (*5*), полученная по результатам 517 параллельных определений удельной электропроводности и суммы ионов в Можайском водохранилище и его притоках в 1967–1970 гг. (Комплексные…, 1979).

$$\kappa_{18} = 0{,}9 \cdot \Sigma u + 30 \pm 15 \quad (5)$$

Результаты

Результаты выполненных многовариантных оценок годового ионного стока основных притоков Можайского водохранилища представлены в таблице 1. Относительная погрешность Δ рассчитана по сравнению с наиболее достоверной («эталонной») оценкой годового ионного стока, выполненной с суточным шагом по данным учащенных наблюдений с использованием линейной интерполяции между измеренными значениями электропроводности.

Табл. 1 Результаты оценок суммарного годового ионного стока р. Москвы и Лусянки различными способами

Особенности расчетной методики		$R_и$, тыс. тонн			Δ, %		
		1984	2012	2016	1984	2012	2016
Линейная интерполяция между измеренными значениями		43,0	57,4	57,8	–	–	–
в т.ч. при сокращении наблюдений до 1 раза:	в неделю	43,7	–	–	2	–	–
	в декаду	43,9	–	–	2	–	–
	в 2 недели	44,9	–	–	4	–	–
	в месяц	43,2	–	–	0	–	–
	в сезон	46,3			8		
Расчет по фактическим данным на основе среднеарифметических величин *к*	за сезон	49,3	69,4	60,4	15	21	5
	за год	54,5	77,5	56,2	27	35	–3
Расчет по фактическим данным на основе средневзвешенных величин *к*	за сезон	42,6	57,7	51,7	–1	1	–10
	за год	31,8	34,7	36,3	–26	–39	–37
Использование зависимостей Σ*u*(*Q*)	связь (*1*)*	30,8	35,8	35,5	–11	–20	–22
	связи (*2*)	40,4	47,2	46,8	–6	–18	–19
Использование зависимостей *к*(*Q*)	связи (*3*)	43,4	48,3	49,7	1	–16	–14
	связи (*4*)	49,6	56,5	57,7	15	–2	0
Расчет за сезон/год с использованием литературных обобщений	за сезон	45,4	58,6	52,9	6	2	–8
	за год	41,9	56,1	46,5	–3	–2	–20

* при использовании уравнения (1) ионный сток и относительная погрешность рассчитаны только для р. Москвы

Чтобы оценить, насколько расчетная величина годового ионного стока, полученная по фактическим данным с применением линейной интерполяции, зависит от частоты пробоотбора, выполнена первая серия расчетов. Массив фактических данных за 1984 г. (результаты измерений электропроводности воды с исходной средней частотой 2 раза

в неделю) был последовательно прорежен так, чтобы частота наблюдений составила: 1 раз в неделю, декаду (как в 2016 г.) или 2 недели (как в 2012 г.) с сохранением учащенных наблюдений в половодье, 1 раз в месяц, 1 раз в фазу гидрологического режима (по 1 пробе в зимнюю межень, подъем, пик и спад половодья, летнюю межень, крупные летние и осенние паводки).

Как видно из таблицы 1, частота мониторинга не оказывает существенного влияния на погрешность оценки годового ионного стока. При снижении средней частоты наблюдений с 2 раз в неделю до 10 раз в год (в фазы и подфазы водного режима) для р. Лусянки погрешность расчета возрастает от 1 до 5%, для р. Москвы и суммарного ионного стока двух притоков – от 2 до 8%. Это дает основание считать, что оценки годового ионного стока по фактическим данным с применением линейной интерполяции в 2012 и 2016 гг. характеризуются погрешностью соответственно 4% и 2% и также могут рассматриваться как «эталонные».

Результаты расчета ионного стока за отдельные сезоны с вычислением соответствующих значений электропроводности как среднеарифметических по данным фактических измерений оказались завышенными, в то время как использование сезонных величин электропроводности, средневзвешенных по объему водного стока, дало результаты, сопоставимые с «эталоном». Оценка годового ионного стока на основе среднегодового значения электропроводности существенно завышена при использовании среднеарифметического и существенно занижена при использовании средневзвешенного. Это обусловлено тем, что в первом случае высокие значения электропроводности (при низких расходах воды) и низкие (при высоких) имеют одинаковый «вес», а во втором с максимальным «весом» учитываются минимальные концентрации ионов.

Результаты расчета годового стока ионов с применением связей (*1*) и (*2*), полученных по материалам самых ранних исследований на водосборе, оказались заниженными на 6–20%, причем погрешности для 1984 г., близкого к периоду этих исследований, в 2–3 раза меньше, чем для 2012 и 2016 гг.

Одной из вероятных причин такого существенного расхождения оценок ионного стока, основанных на измеренных значениях электропроводности и восстановленных значений минерализации, является неэффективность связи (*5*) между этими показателями, полученной по материалам исследований полувековой давности. По предварительным результатам исследований на р. Москве и Лусянке в 2016–17 гг., включавших параллельное определение электропроводности воды и концентраций главных ионов, в современных условиях уравнение типа (*5*) имеет другие коэффициенты: $\kappa_{18} = 1{,}1 \cdot \Sigma u + 7$. Использование этого уравнения вместо (*5*) снижает расхождения между оценками по связям (*1*) и (*2*) и оценками, основанными на значениях электропроводности.

Связь (*3*) полученная по данным 1984 г., показала высокую эффективность для этого года, а связь (*4*) – соответственно, для 2012 г., что вполне ожидаемо. При этом примечательны результаты расчетов для 2016 г., которые можно рассматривать как проверку связей (*3*) и (*4*) на независимом материале. По погрешностям оценок годового стока по обеим связям 2016 г. очень близок к 2012 г. и отличается от 1984 г., хотя по гидрометеорологическим условиям этот год был весьма непохож ни на 1984, ни на 2012 г. Это может как свидетельствовать об изменениях условий формирования стока на водосборе, так и быть следствием изменения приборно-методической базы за прошедшие 30 лет.

Погрешности оценок, основанных на приведенных в литературе средних сезонных и среднегодовых значениях минерализации, не превышают для 1984 и 2012 гг. ±6%, однако для 2016 г. занижение годового ионного стока составляет 8–20%. Скорее всего, это также связано с особенностями гидрологического режима в 2016 г. – частыми зимними

оттепелями и паводками, низким растянутым половодьем, дождливым летом. Оценки ионного стока по средним сезонным величинам минерализации в целом эффективнее, чем по среднегодовым (последние стабильно занижают величину годового ионного стока).

Выводы

Сравнение результатов выполненных оценок показало, что они существенно зависят не столько от объема исходных данных, сколько от метода их интерпретации.

При снижении частоты мониторинга с 8 до 2 раз в месяц оценка годового ионного стока изменяется лишь на 5%, до 1 раза в фазу гидрологического режима – на 8%.

Оценка по среднегодовому значению минерализации, как правило, ниже, чем по сезонным. При этом оценки по среднеарифметическим значениям минерализации существенно выше, чем по средневзвешенным (в среднем на 15–20% при расчете по сезонным значениям и на 35–75% по среднегодовому).

Использование эмпирических связей минерализации (или электропроводности) с расходом воды, полученных по данным более ранних исследований, занижает оценку ионного стока для более поздних лет (до 30%), в то время как связь по данным 2012 г. демонстрирует свою высокую эффективность для 2016 г.

Погрешности оценок годового ионного стока по литературным обобщениям не превышают для 1984 и 2012 гг. ±6%, а для 2016 г. занижение ионного стока достигает 20% (скорее всего, из-за гидрометеорологических особенностей года).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-35-00199 мол_а).

Список литературы

Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). М.: Перо, 2015. 284 с.

Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 3. Можайское водохранилище. М.: Изд-во МГУ, 1979. 467 с.

Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 6. Водохранилища Москворецкой водной системы. М.: Изд-во МГУ, 1985. 266 с.

Пуклаков В.В., Пуклакова Н.Г. Оценка связи электропроводности и расхода воды в притоках Можайского водохранилища // *Теоретические и прикладные проблемы современной лимнологии: Материалы Международной научно-практической конференции.* Минск, 2003. С. 228–229.

Пуклаков В.В., Пуклакова Н.Г. Связь минерализации с расходом воды в реках Верхне-Волжского бассейна // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды Международной научно-практической конференции.* Т. 2. Пермь, 2013. С. 151–155.

Ion flow assessment of the Mozhaysk reservoir's tributaries dependending on the details of original data

***Yakimova A.I.*, Sokolov D.I.**
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
anyakimova96@gmail.com

Abstract: The purpose of this report is to estimate the dependence of annual river ion flow assessment on original data details and features of the calculation method. Calculation may be based on actual data of researches (from single measurements to detailed long-term observations) or regular monitoring (from several times a year to daily), in the absence of actual data – according to scientific sources or empirical relationship of ion and water flows. Mineralization and specific electrical conduction of water may be the quantity characteristics of dissolved ions content in water. Multivariate ion flow assessment was made for the main Mozhaysk reservoir tributaries – Moskva and Lusyanka rivers in 1984, 2012 and 2016 to understand, how calculated value of ion flow depends on quantity and quality of original data and approach to its interpretation. As a result, the assessment comparison showed that it depends on original data interpretation more than on its quantity. In case of reducing regular monitoring from 8 to 2 times a month annual ion flow assessment changes about 5%. The use of empirical relationship between mineralization (or conductivity) and water discharge, obtained from earlier research, underestimate ion flow assessment for the later years (to 30%), while using of original data from 2012 much more effective in 2016. The errors of annual ion flow assessments obtained according to scientific sources do not exceed ±6% in 1984 and 2012 years but reaches 20% in 2016 (most likely by hydrometeorological features). Assessment using annual mineralization values is lower than using seasonal values as a rule. Wherein errors using arithmetical mean mineralization values are significantly higher than using the weighted average (by about 15–20% in seasonal and 35–75% in annual value calculation).

Keywords: ion flow, flow assessment, mineralization, sum of ions, conductivity, estimation error

Investigating the effect of land use cover and geology on groundwater quality (case study: Hablehroud River basin)

***Omid Asadi Nalivan*[1], *Amir Sadoddin* [1], *Gholam Hoseein Karami*[2], *Vahedberdi Sheikh*[1]**

[1]*Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*

[2]*Faculty of Earth Science, Shahrood Industrial University*

omid.asadi@alumni.ut.ac.ir

Abstract: The present study is focused on the effect of two determinant factors: geology and land use/cover on groundwater quality. The principal component analysis (PCA) was used to sieve the most representative water quality factors. Afterwards, the regression functions, Duncan test, and geostatistical techniques were used to respectively assess the relationship between water quality parameters, compare the mean values, and to zone the water quality over the study area. The results revealed that seven parameters namely TH, Ca, Na, TDS, EC, Cl and SO_4 have significant spatial differentiation amongst different land uses/ covers, with a 95% confidence level. The same sets of parameters, except for Na and Ca, have been differently distributed amongst the geological formations at the same confidence level. Moreover, EC and TDS were highly correlated at 95% confidence. As for different land uses/ covers, the PCA test attested that TDS is responsible for 88.16% of changes in water quality. Comparatively, TDS and EC are responsible for 91.59% of water quality changes in different geological formations. Using Scholler diagram, drinking water was categorized into five descriptive classes over the study area, including unusable, bad, temporarily usable, acceptable, and good. Furthermore, Wilcox diagram was used to categorize agricultural water into three representative classes, unsuitable, moderate, and suitable. The overall inferences imply that the water quality degradation in the study area stems from the controlling role of geology.

Keywords: water quality, geology, PCA, Land use and cover, Hablehroud River Basin.

Introduction

Groundwater is found to be one of the most important water resources playing an important role in providing water for agricultural and drinking purposes in arid and semi-arid regions. Many water resources planning in dry and semi-arid countries (such as Iran) are based on the potential of groundwater resources. To assess the quality of water, several elements (parameters) must be measured at a time in a given time period, and it must be determined that the water pollution originates from geology or origin (Pesce and Wunderlin, 2000). The simultaneous examination of multiple variables, as well as the human or natural cause of contamination, can be solved using multivariate methods such as factor analysis (Massart et al., 1998). It should be noted that multivariate methods are widely used today because they are able to recognize the similarities and differences between variables and parameters (Razmkhah et al., 2010). Using these methods helps researchers identify the most important factors affecting the quality of water systems and is a valuable tool for sound water management (Singh et al., 2004). In the study, Miroslaw et al. (2012) concluded that in addition to geological structure, other factors such as the quality of surface currents affect the water quality of the springs. The aim of this study was to investigate the quality of groundwater used for drinking and farming in the Hablehroud river basin, analyzing and interpreting the quality of these resources using GIS software and performing statistical tests. Due to the serious problems of underground water management in the Hablehroud Basin, due to the depletion of groundwater through deep and semi-deep wells, annual subsidence of groundwater and a decrease in water quality, this basin was selected for this research.

Materials and Methods

The studied area is located in the provinces of Semnan and Tehran, with coordinates 35 to 36 36 north latitude and 39 51 to 8 53 eastern lakes with an area of 12660 square kilometers (Fig. 1). The average annual rainfall in this basin is about 231 mm and the average annual temperature is around 14 ° C. To conduct this research, 129 sources of water including wells, springs and qanats (statistical period of 2005-2015) were used (Fig. 1). The formations of the studied region are related to the Cenozoic period, which is remarkable for the Tertiary and Quaternary periods. The lagoon basin can be divided into fifteen main categories (Table 1 and Figure 2). The Hableh River River Basin has 11 main uses (Fig. 3). The largest area of the basin is pasture use with 74.54%.

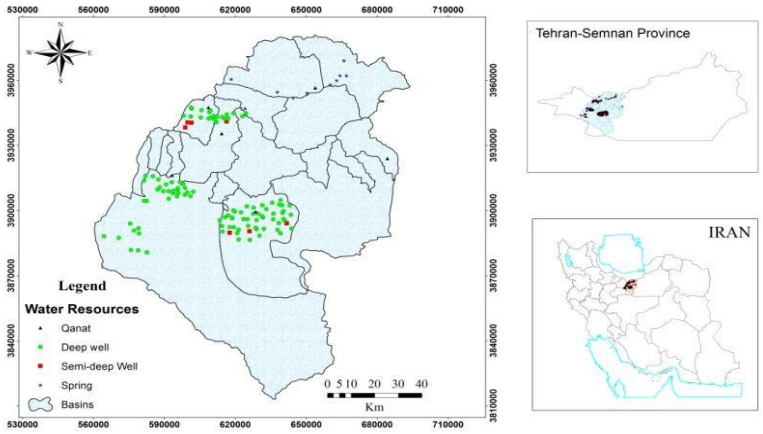


Figure 1: Location of the Hablehroud River Basin in Iran

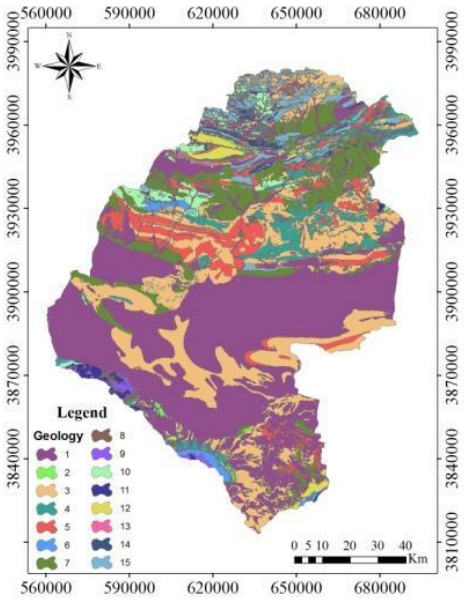


Figure 2: Geology map of the Hablehroud River Basin

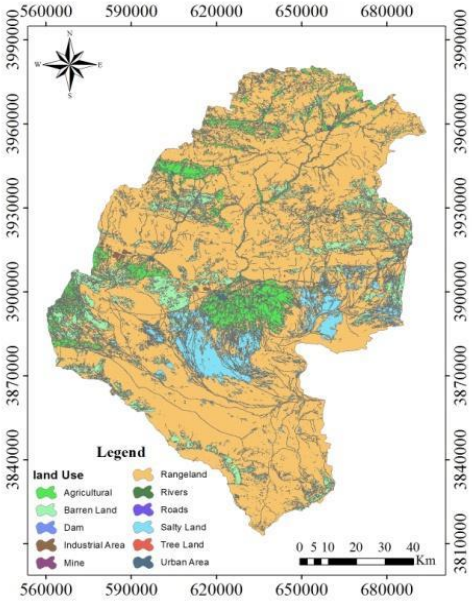


Figure 3: Land use map of the Hablehroud River Basin

In order to understand the most important parameters affecting water quality, the main components analysis (factor analysis) was used. This method weighs the components and specifies a specific value for each (Pezhman et al., 2009). Factor analysis has three stages of providing a correlation matrix of all variables (Pearson correlation method), extracting the main

factors and interpreting the results. In order to facilitate the interpretation of factor structure, the Varimax era-driven factors are one of the most commonly used methods (Vieira et al., 2012), until agents become independent. It should be noted that in this analysis, for statistical analysis (KMO), for the purpose of data correlation, factor analysis was used. The Duncan test was used to study the significance level of parameters among applications and types of formations. In the next step, the zoning of water quality for drinking and farming purposes was based on geostatistical methods in GIS. In the following, ground-breaking methods (IDW), global polynomial method (GPI), local polynomial method (LPI), radial functions method (RBF) and Kriging method were investigated. To evaluate geostatistical methods and select the best method, ArcGIS software that has the ability to perform cross-evaluation techniques and the second-rank mean square error (RMSE) was used. In order to study the agricultural water quality (Wilcox diagram), in this section, first two EC and SAR variables were zoned and then combined through the Union's GIS command and finally the water quality zoning map was obtained in 4 floors (very good waters , Good, medium and inappropriate). Drinking water was also sorted through the Schuler diagram, and then ArcGIS was zoned.

Table 1: Frequency distribution of geological formations in Hablehroud River Basin

Num	Formation	Area (ha)	Area (%)
1	Alluvial deposits	553020.6	43.7
3	Madstone, Shale, Marl, Sandstone, Conglomerate	274079.2	21.6
7	Conglomerate, Sandstone	129621.5	10.2
13	Lime and Dolomite	3246.4	0.3
14	Lime, clay lime, marl lime, tuff and marl	17964.3	1.5

Results

The descriptive statistics of the parameters studied are shown in Table 2. The Duncan test was used to compare the meanings by Land use and formation, the results of shown in Tables 3 and 4.

Table 2: Results of statistical analysis of the parameters studied

Parameter	Min	Max	Average	Median	Standard deviation
TH	4.4	7.93	6.32	6.63	0.89
pH	7.41	8.17	7.86	7.87	0.13
TDS	4.48	8.9	7.2	7.57	1.06
EC	5.14	9.31	7.64	7.98	1.02
Cl	1.26	8.13	5.64	6.44	1.77
Na	0.47	7.48	5.17	5.74	1.52
Mg	1.53	5.72	4.01	4.34	1.02
Ca	3.17	6.54	4.79	5.07	0.86
SO_4	2.18	7.24	5.48	6.04	1.27

Table 3: Comparison of mean water quality parameters in different land use

Parameter Land use	TH	pH	TDS	EC	Cl	Na	Mg	Ca	SO_4
Rivers	187.25	7.83	226.75	376.67	10.64	6.15	17.92	45.52	35.58
Agricultural	685.86	7.87	1760.49	2678.27	574.93	302.99	78.4	145.28	351.47
Rangeland	740.62	7.87	2006	3041.55	640.83	343.04	75.18	164.53	446.35
Urban area	908.06	7.88	2373.25	3575.13	822.91	354.44	108.14	185.36	427.3
Salty land	1398.92	7.82	4075.92	6076.25	1536.05	772.13	170.65	283.2	715.18
Barren land	1711.02	7.73	4490.5	6712.96	1798.37	812.07	148.35	409.78	736.66
Industrial area	2035	8.07	7359.67	11095.86	3423.86	1783.65	254.27	383.16	1054.35
Average	1095.25	7.87	3184.65	4793.77	1258.23	624.92	121.84	230.98	538.13
Sig.	0.03*	0.3	0.001*	0.001*	0.000*	0.04*	0.06	0.05*	0.05*

*** Significant difference at 5% level**

As shown in table (3), the parameters TH, Ca, Na, TDS, EC, Cl and So4 have different meanings in different applications. Also, in Table (4), the parameters TH, TDS, EC, Cl and So4 differ significantly in different formations. In the following, the results of the factor analysis are presented in terms of formulas and uses. Given the fact that the KMO statistic is equal to 817% in the utilization sector and 864% in the formulation, and then the data is suitable for performing factor analysis. Factor analysis based on water quality characteristics shows that 88.16 percent of water quality changes among applications are controlled by one factor. Due to the fact that an agent has a specific value above one, it is not necessary to turn the varimax. According to the results, this parameter is TDS with a weight of 99%. Therefore, this parameter was the most important parameter affecting water quality among different uses. The factor analysis based on water quality characteristics shows that 91.59% of the water quality changes in the formations are controlled by two factors: the percentage of variance of each factor 1 and 2 is 77.29 and 14.3% respectively. These two factors were determined using Varimax rotational analysis. For the first factor, the most weight load (0.952) is related to the TDS parameter and for the second factor; the highest weight load (0.950) is related to the EC parameter. Therefore, these two parameters were the most important parameters affecting water quality among different formations. In the following, different land statistics were compared for the purpose of zoning the various agricultural and agricultural uses using the RMSE statistics. For each model variable, the model with the lowest RMSE for zoning was used.

Table 4: Comparison of mean water quality parameters in different formation

Parameter Formation	TH	pH	TDS	EC	Cl	Na	Mg	Ca	SO_4
Lime and Dolomite	178.25	7.82	226.75	376.66	10.63	6.15	17.91	45.52	35.58
Conglomerate, Sandstone	388.96	7.86	835.45	1305.1	180.57	121.1	33.48	104.35	197.16
Lime, clay lime, marl lime, tuff and marl	542.95	7.79	1349.25	2049.75	450.88	3.77	8.87	36.37	16.33
Madstone, Shale, Marl, Sandstone, Conglomerate	770.02	7.82	1562.33	2372.45	343.07	200.33	68.01	196.4	569.51
Alluvial deposits	842.8	7.87	2287.94	3459.48	786.6	405.5	93.45	180.64	459.88
Average	546.4	7.83	1252.34	1912.7	354.35	147.36	44.36	112.65	255.7
Sig.	0.011*	0.4	0.003*	0.001*	0.004*	0.06	0.07	0.06	0.04*

*** Significant difference at 5% level**

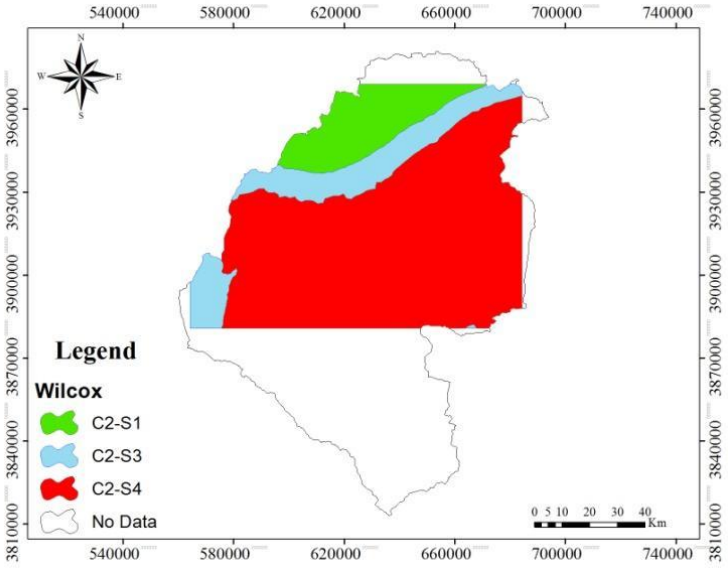


Figure 4: Water quality agricultural zoning in the Hablehroud River Basin (Wilcox)

Figure 4 shows the zoning of water quality in the agricultural sector through the Wilcox classification. It is also shown in the form of agricultural areas as well as the location of wells, springs and aqueducts. Due to the shape of the water, there is no good category in the region, and the water quality has been reduced from the north of the basin to the south of the basin, respectively. Figure 5 shows the zoning of drinking water quality using the Schuler diagram. In the drinking sector, the decline in water quality is evident from the north to the south.

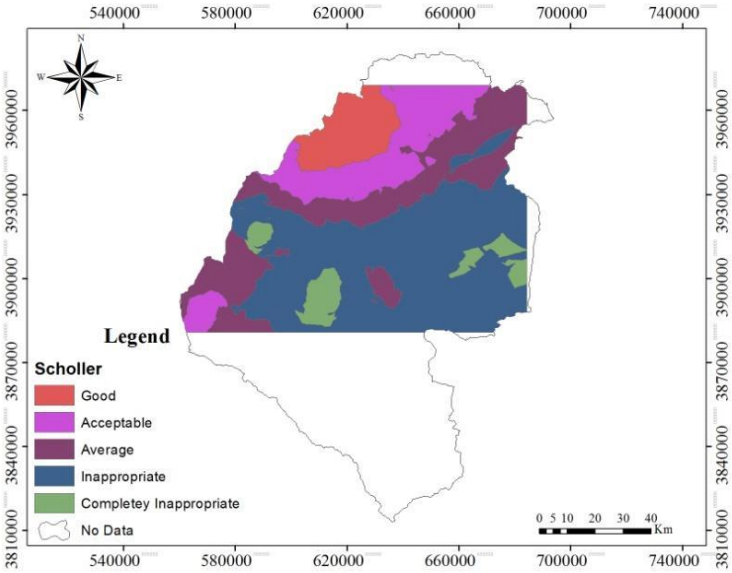


Figure 5: Water quality drink zoning in the Hablehroud River Basin (Scholler)

Discussion and Conclusions

The results of factor analysis based on the analysis of the main components showed that important and effective factors in water quality can be identified and extracted in the study area. In this research, two parameters of TDS and EC were identified as the most important parameters affecting water quality. The two parameters also had the highest correlation. The results showed that TH, TDS, EC, Cl and So4 parameters differed significantly in different formations in studying the effect of formations on the groundwater quality parameters. The results showed that TH, Ca, Na, TDS, EC, Cl and SO4 parameters were significantly different in different uses. The above illustrates the impact of groundwater quality on both. It should be noted that the process of changes in water quality indicates water quality impacts from the region's formations, but in areas where agriculture, industry, mineral resources and residential areas are affected, water quality has declined sharply, showing the effects of land use Gives. It is also observed by comparing the average of water quality among various applications and formations that the mean of all parameters studied in applications is more than formations, and this also shows the water quality impacts of different uses. In this research, it was determined that some of the parameters of groundwater quality are affected by land use, and others are influenced by the lithology of the study area, but in general it can be stated that in the first priority geological factor and in the second priority the user agent Land on groundwater quality has the most significant effect.

References

Massart, D.L., B.G.M. Vandeginste, S.N. Deming, Y. Michotte and L. Kaufman. 1988. Chemometrics: Textbook. Elsevier, Amsterdam. 320pp.

Miroslaw, Z., Aleksander, A., Anna, W. and Stanis, M. 2012. Spatiotemporal dynamics of spring and stream water chemistry in a high-mountain area. Journal of Environmental Pollution. 159: 1048-1057.

Pesce, S.F. and D.A. Wunderlin. 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Sucuia River. Water Research. 34: 15 -29.

Pezhman, H.A., GH.R. Nabi Bidhendi, A.R. Karbasi, N. Mehrdadi and M.E. Bidhendi. 2009. Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques, International Journal of Environmental Science and Technology (IJEST). 6: 467-476.

Razmkhah, H., A. Abrishamchi and A. Torkian. 2010. Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajroud River (Tehran, Iran). Journal of Environmental Management. 91: 852-860.

Singh, K.P., A. Malik, D. Mohan and S. Sinha. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)-a case study. Water Research. 38: 3980-3992.

Vieira, J.S., Pires, J.C.M., Martins, F.G., Vilar, V.J.P., Boaventura, R.A.R., and Botelho, C.M.S. (2012). Surface water quality assessment of Lis River using multivariate statistical methods. J. of Water Air Soil Pollutant, 223(9), 5549-5561.

Секция 4
Многогранная гидрология

Session 4
Regional hydrological studies

Гидрологические и изотопные методы для картирования минимального речного стока и оценки ресурсов подземных вод на примере запада Ленинградской области

***Воронюк Г.Ю.*[1], Марков М.Л.[2], Токарев И.В.[3]**
[1]*АО «Северо-Западное ПГО», г.Санкт-Петербург*
[2]*ФГБУ «ГГИ», г.Санкт-Петербург*
[3]*Научный парк СПбГУ, г.Санкт-Петербург*
grigory.voronuk@yandex.ru

Аннотация: Представлены результаты исследований в рамках съемки масштаба 1:200 000 листа O-35-V. Выполнено картирование модуля минимального речного стока для оценки прогнозных ресурсов подземных вод. Выявлена изменчивость подземного стока в реки в пределах одного водосбора, обусловленная гидрогеологическим строением. Показано, что при отсутствии прямых наблюдений расчетные данные содержат значительные погрешности, которые могут быть исправлены на базе информации об изотопном составе воды (дейтерий, кислород-18). Определение генезиса и баланса речных вод с привлечением изотопной информации позволило уточнить структуру и величину подземного стока в реки. Обнаружена высокая значимость озерного и болотного регулирования минимального речного стока, в том числе, за счет испарения.

Ключевые слова: Оценка и картирование минимального речного стока, оценка ресурсов подземных вод, изотопные методы.

Введение

Методика оценки и картирования подземного стока развивается с 60-х годов XX века (Б.И. Куделин, В.А. Всеволожский, Р.Г.Джамалов, И.С. Зецкер, Н.С.Ратнер и др.) и основана на оценке взаимодействия поверхностных и подземных водных объектов. Подземный сток в реки за многолетний период характеризуется как объективный показатель естественных ресурсов подземных вод. Однако подземное питание рек в условиях неполного дренирования не эквивалентно подземному стоку, что приводит к неоправданному снижению расчетных ресурсов подземных вод и ограничивает их использование (Боревский, 2014). При несоответствии подземных и поверхностных водосборов, что характерно особенно для районов развития карста, может происходить завышение модуля подземного стока. Несмотря на указанные проблемы и при отсутствии на исследуемой территории водозаборов подземных вод или при недостатке данных мониторинга метод оценки питания подземных вод по подземному стоку в реки остается основным. С учетом существенного влияния вариаций климата на гидролого-гидрогеологические характеристики, вновь оказывается актуальным методическое обоснование информативности данных по минимальному речному стоку для водно-балансовых оценок. Остаются дискуссионными вопросы о различии многолетней изменчивости подземного и минимального речного стока.

Материалы и методы

В 2016-17 г.г. при проведении полевых геолого-съемочных работ масштаба 1 : 200 000 листа O-35-V; сбору и камеральной обработке фондовых и полевых материалов для составления гидрогеологических карт, выполненных АО «Северо-Западное ПГО» по заказу ФГБУ «Гидроспецгеология», получена комплексная информация, использованная для картирования подземного стока в реки (ПСР) и оценки ресурсов подземных вод.

Комплекс включал гидрометрические измерения в межень, наблюдения и опробование подземных вод для получения химических и изотопных (дейтерий, кислород-18 и тритий) данных, анализ метеорологической и геологической информации, а также генетическое расчленение гидрографов. Следует отметить недостаток данных по режиму эксплуатации водозаборов в пределах съемочного листа.

Территория листа О-35-V расположена на западе Ленинградской области на границе с Эстонией в краевой зоне Ленинградского артезианского бассейна и относится к водосборным бассейнам реки Луга и прочих малых рек бассейна Финского залива. Основными опубликованными и фондовыми материалами являются Комплект карт подземного стока СССР 1:5 000 000 (1965); разделы монографии «Гидрогеология СССР» (1966-1972); Карта подземного стока Центральной и Восточной Европы (1983) и Карта подземного стока Нечерноземной зоны РСФСР масштабов 1:1 500 000 (1984); Карта подземного стока запада Ленинградской области в пределах Ленинградского артезианского бассейна масштаба 1:1 000 000 (1982 гг.); записка по оценке обеспеченности Северо-Запада РФ ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения масштаба 1:500 000 (2001), Карта ресурсного потенциала подземных вод РФ масштаба 1:2 500 000 (2011). В указанных работах модуль подземного стока (МПС) оценивался по минимальному 30-ти суточному речному стоку 95 % обеспеченности (Гидрогеология СССР, 1967) или по среднему многолетнему минимальному зимнему речному стоку (Почвенно-геологические условия Нечерноземья, 1984). Отмечено, что при единстве геофильтрационной среды различия в оценках МПС обусловлены распространением в зоне аэрации грунтов глинистого состава и торфяного типа. Влияние климатических факторов на МПС не установлено.

В рамках работ 2016-17 г.г. определение подземного стока в реки выполнено по данным гидрологических наблюдений на сети Росгидромета и полевых гидрометрических съемок. На исследуемой территории расположен только один действующий гидрологический пост «Среднее Райково» на малой р. Систа (площадь водосбора 672 км^2), который использован в качестве аналога. Пост на р. Луга не использовался, так как она является транзитной для исследуемой территории (площадь водосбора 13 200 км^2). По наблюдениям за 34 года на реке Систа построены расчетные кривые обеспеченности минимальных летних 30-суточных расходов методами наибольшего правдоподобия и методом моментов, последняя принята в качестве расчетной. Величина минимальных 30-суточных расходов 80 % обеспеченности составила 1,62 м^3/с, 50 % обеспеченности – 2,26 м^3/с. Найдено, что в летнюю межень речной сток меньше, чем в зимнюю. В летние меженные периоды 2016 и 2017 г.г. выполнено 71 измерение расходов воды на различных реках района. Для перехода от расходов эпизодических наблюдений к обеспеченным расходам использовались расчетные коэффициенты по реке-аналогу: от 2016 г. к 80 % обеспеченности 0,318, к 95 % – 0,462; от 2017 г. к 80 % – 0,26, к 95 % – 0,378. Расчетные модули минимального 30-ти суточного летнего стока в реки 95 % обеспеченности составляют 0–6,9 л/с×км^2, 80 % обеспеченности – 0–10 л/с×км^2. Дополнительно величины минимального стока малых водотоков определены по региональной формуле. Расчетные модули минимального речного стока 95 % обеспеченности составляет для территории листа О-35-V 0,49–0,57 л/с×км^2, 80 % обеспеченности – 0,62–0,73 л/с×км^2. Составлены карты меженного стока рек отдельно 80 % и 95 % обеспеченности по водосборам рек, на которых выполнены эпизодические измерения расхода. В пределах одного речного бассейна модули минимального стока значительно различаются. Таким образом, для определения подземного стока неинформативны расчетные данные при отсутствии гидрометрических наблюдений. Построена карта изолиний модуля минимального речного стока (ММРС) через центры-тяжести водосборов по данным эпизодических наблюдений минимального поверхностного стока 95 % обеспеченности.

В 2016 и 2017 г.г. выполнено опробование колодцев и родников. По результатам лабораторных исследований установлено, что изотопный состав грунтовых вод относительно стабилен в различные годы, причем воды ордовикского водоносного горизонта (Ижорское плато) близки с грунтовыми водами четвертичного водоносного комплекса (Предглинтовая низменность). Определение трития, позволяет рассчитать возраст грунтовых вод по модели полного смешения (Дубинчук, 1988), который составил 12–19 лет. Следовательно, сезонная изменчивость величин подземного стока должна быть незначительной, тогда как изменчивость меженного расхода рек в годы разной водности существенна.

Поверхностные воды имеют «тяжелый», относительно атмосферных осадков, изотопный состав, что отражает их формирование за счет осадков теплого периода года. Изотопный состав грунтовых вод «легче» атмосферных осадков, т.к. формируется преимущественно за счет питания в холодный период года (вероятно, преимущественно снеготалыми водами).

Состав речных вод 2016 г., дренирующих Ижорское плато, близок составу грунтовых вод. Доля дождевых вод в меженном речном стоке 2017 г. больше, чем в межень 2016 г. В 2016 г. воды р. Хаболовка и Луга имели наиболее тяжелый изотопный состав и сдвинуты вправо относительно ГЛМВ. Последнее объясняется формированием их стока в летний период, а смещение от линии осадков – испарением, вследствие значительной доли озерных и болотных ландшафтов. Аналогично, озерные воды 2017 г. хоть и испытали значительное испарение, но исходный состав был также тяжелее состава грунтовых вод, указывая на значительную долю летних осадков.

Результаты

Большинство водосборов малых рек ***Предглинтовой низменности*** имеют модуль минимального речного стока в пределах 0,1–0,5 л/с×км^2, значительное количество водотоков пересыхает в межень. Только 18 из 47 водотоков имели сток в период меженной съемки 2017 г., хотя на карте масштаба 1 : 200 000 данные водотоки относятся к постоянным. При этом ряд водотоков с площадью водосбора менее 20 км^2 имели сток. На этом фоне выделяются реки в пределах Сойкинской возвышенности, например, р. Белая имеет модуль 1,8 л/с×км^2, а соседняя р. Черная – 0,57 л/с×км^2. Представляется, что основная часть подземного стока с возвышенности направлена по ее восточному склону, что соответствует песчаному разрезу зоны аэрации. Наличие верховых болот на возвышенности предполагает регулирование речного стока и дополнительное питание в межень. Водотоки на западном склоне возвышенности либо пересыхают, либо имеют модуль около 0,2 л/с×км^2, что обусловлено суглинистым строением четвертичных образований.

Выявлен повышенный, в сравнении с прилегающей территорией, ММРС для водосбора р. Хаболовка при относительной однородности гидрогеологического разреза. На замыкающем створе р. Хаболовка, в которую впадают реки Белая и Черная, ММРС составил 4,36 л/с×км^2. Последнее отражает регулирующий эффект оз. Хаболовское, что подтвердилось изотопными исследованиями. При этом озера в верховьях водосбора р. Хаболовка (оз. Судачье, Глубокое) имеют малые ММРС – 0,27–0,30 л/с×км^2, характерные для Предглинтовой низменности.

Данные изотопного состава поверхностных и подземных вод на дейтерий и кислород-18 представлены на рисунке. Для озер по смещению относительно линии метеорных вод диагностируется испарение, которое нарастает в ряду: Глубокое < Бабинское < Копанское < Хаболовское < Суйдово. Последнее, питаясь за счет болотных вод имеет малую площадь менее 0,1 км^2, чем объясняется максимальная степень испарения. Вероятно, помимо испарения с зеркала озера следует ожидать испарение болотных вод в ходе их

стекания к озеру. Данное озеро расположено в верховьях р. Белой, повышенный ММРС которой и объясняется зарегулированностью стока. Близки между собой по изотопному составу дейтерия и кислорода-18 озера Хаболовское, Бабинское и Копанское. Первые два расположены в низовьях р. Хаболовка, что объясняет аномально высокие ММРС. Значительная степень испарения озерных вод говорит о регулировании стока, а расчетный начальный изотопный состав до испарения отражает формирование стока за счет осадков летнего периода. Таким образом, минимальный речной сток р. Хаболовка не отражает разгрузку подземных вод, а преимущественно формируется за счет поверхностного стока, что при отсутствии изотопных данных вело бы к завышению МПСР. Напротив, реки Пейпия, дренирующая оз. Копанское и Кямиши, дренирующая оз. Глубокое, показали характерные для Предглинтовой низменности ММРС. Это можно объяснить относительно малой площадью водосборов озер и незначительным превышением зеркала озера над точкой дренирования.

Отсутствие или недостаток питания рек подземными водами в меженный период, приводит к выводу о малости прогнозных ресурсов подземных вод. Между тем, население здесь снабжается как за счет колодцев, так и за счет скважин. Причиной заниженных оценок ресурсов подземных вод является неполное дренирование подземного стока, который оказывается значительно выше минимального речного.

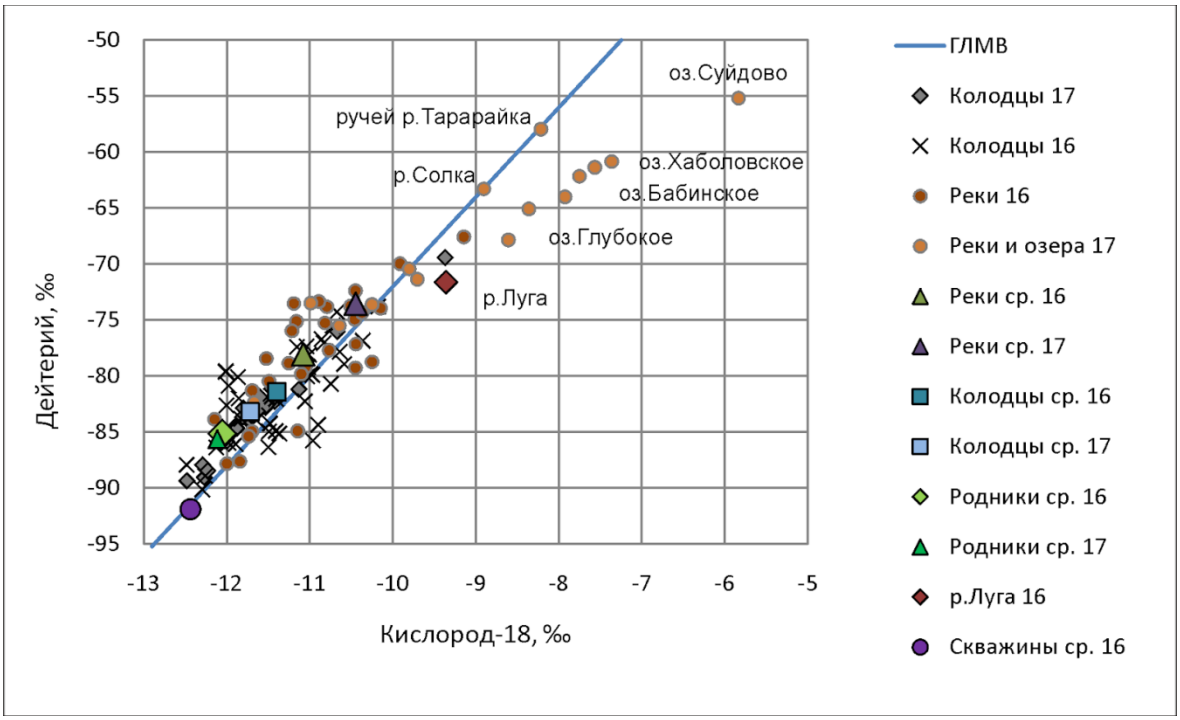


Рис. 1. Изотопный состав (дейтерий и кислород-18) поверхностных и подземных вод на территории листа О-35-V в 2016 и 2017 г.г.: 16 и 17 – 2016 и 2017 года опробования; ГЛМВ – глобальная линия метеорных вод; ср. – среднее значение по медиане.

Реки ***Лужской низменности*** имеют модули минимального речного стока 1,1–1,2 л/с×км^2. Расчетные модули меженного стока 95 % обеспеченности на ***Ижорском плато***, несколько выше ранее выполненных работ – 4–9 л/с×км^2. Если отождествлять ММРС с МПС, то максимальные величины требуют уточнения, т.к. подземные водосборы Ижорского плато, видимо, превышают поверхностные.

Расходы рек, дренирующих Ижорское плато, значительно превышают расходы рек в пределах Предглинтовой низменности, поэтому с увеличением площади водосбора ***вниз по потоку снижаются модули подземного стока***. Модули подземного стока восточнее

линии по меридиональному течению р. Сума и меридиональному течению рек Онстапель и Хревица составили от 4,7 на севере до 8,5 л/с×км^2 на юге. Западнее этой линии на окраине Ижорского плато модули минимального стока малых рек составили от 1,4 на севере до 1,6 л/с×км^2 на юге. Ниже по течению основных рек (р. Солка, Касколовка) дренируются уже четвертичные образования в пределах Предглинтовой низменности с модулями стока 0,12–0,34 л/с×км^2 (р. Тарарайка, Санга, Черная, оз. Судачье). На замыкающих створах р. Солка наблюдаются модули 1,3–1,4 л/с×км^2, р. Касколовка – 1,4 л/с×км^2, т.е. осредненные модули характеризуют как подземный сток из районов развития карбонатных отложений с высокой водопроводимостью и развитием карста, так и сток из районов с неполным дренированием четвертичного разреза. Если принимать модули подземного стока по средним водотокам (площадью более 100–200 км^2), то они могут приводить к завышению прогнозных ресурсов подземных вод на отдельных участках водосбора.

Выводы

С учетом выявленной пространственной изменчивости стока, как между водосборами, так и в пределах одного водосбора, а также данных изотопных исследований, выполнена коррекция карты подземного стока (карты прогнозных ресурсов подземных вод). Подтверждена зависимость величин подземного стока от строения гидрогеологического разреза. Питание и прогнозные ресурсы подземных вод (ПРПВ), определенные по минимальному речному стоку в условиях неполного дренирования, являются заниженными.

В случае превышения проектного дебита водозабора над ПРПВ рекомендуется выполнять оценку питания подземных вод гидрогеологическим методом с использованием данных опыта эксплуатации водозаборов, а при отсутствии данных выполнять балансовые расчеты, уточняемые изотопными исследованиями подземных и поверхностных вод.

Полученные результаты отражают сложную картину формирования минимального речного стока и подтверждают значимость учета озерного и болотного регулирования стока рек при гидрологическом обосновании оценки ресурсов подземных вод. Эффективность работ существенно повышается при использовании результатов изотопных исследований поверхностных и подземных вод.

Список литературы

Боревский Б.В., Марков М.Л. Является ли меженный расход рек мерой питания подземных вод или общего подземного стока? // Разведка и охрана недр. 2014. №5. С.10-16.

Гидрогеология СССР. Том III, Ленинградская, Псковская и Новгородская области. СЗТГУ Тематическая комплексная экспедиция, М.: Недра, 1967. 328 с.

Почвенно-геологические условия Нечерноземья М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 608 с.

Дубинчук В.Т. и др. Ядерно-геофизические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1988. 223 с.

Isotope hydrology and mapping of low river flow to groundwater resources assessment of the west of Leningrad region

***Voronyuk G.Y.*[1], Markov M.L.[2], Tokarev I.V.[3]**
[1]*JSC «SEVERO-ZAPADNOE PGO», St. Petersburg*
[2]*FSBI «SHI», St. Petersburg*
[3]*Research Park of SPbU, St. Petersburg*
grigory.voronuk@yandex.ru

Abstract: The results of hydrological research within the framework of the map O-35-V sheet are presented. The module of the low river flow was measured to estimate of the groundwater resources. The groundwater discharge in rivers within the same catchment area was not constant and controlled by geological structures. It is shown that if the direct measurements is absent, the calculated data contain significant errors, which can be corrected by information of the isotopic composition of water (deuterium, oxygen-18). The determination of the genesis and balance of river waters with the use of isotopic information made it possible to clarify the structure and amount of the underground runoff into the rivers. The high effect of lake and marsh regulation of low river flow was found. The evaporation of swamp and lake water was significant.

Keywords: Estimation and mapping of low river flow, groundwater resources assessment, isotope hydrology

Изменчивость потоков тепла в прибрежной зоне Балтийского моря по данным термокосы и метеостанции

Михайлов В.А.*, *Мысленков С.А.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
vladk100@mail.ru

Аннотация: В данной работе рассматривается изменчивость потоков тепла из океана в атмосферу в прибрежной зоне Балтийского моря. Потоки тепла рассчитывались на основе данных термокосы и метеостанции, установленных на платформе Д-6. Анализируются данные за 2015-2016 года. По данным расчетов средний за весь период расчетов максимальное значение потока явного тепла составило 66 Вт/м^2, минимальное значение -45 Вт/м^2. Максимальное значение потока скрытого тепла составило 30 Вт/м^2, минимальное значение -48 Вт/м^2.

Ключевые слова: поток тепла, температура воды, термокоса, Балтийское море, прибрежная зона.

Введение

Балтийский регион представляет собой сферу интересов России в социально-экономическом, военно-политическом и рекреационном плане. В экологическом аспекте анализ изменчивости потоков тепла является важной задачей при исследовании взаимодействия обмена между океаном и атмосферой (Helcom, 2013). Суммарный поток тепла складывается из суммы потоков явного и скрытого тепла. Для расчета потоков тепла используются различные параметризации этого процесса.

Раннее для Балтийского моря уже проводились расчеты потоков тепла. Подробный анализ работ по потокам тепла приводится в работе (Дубравин, 2014). Среднегодовой поток явного тепла, рассчитанный по различным методикам составляет от 12,2 до 22,6 Вт/м^2, размах колебаний составляет от -11,6 до 60, 8 Вт/м^2. Среднегодовой поток скрытого тепла составляет от 23,4 до 45,2 Вт/м^2, размах колебаний 9, 1 – 91, 3 Вт/м^2 (Дубравин, 2014). Однако, эти результаты получены на основе данных климатического атласа грубого пространственного и временного разрешения.

В данной работе приводятся результаты расчета потоков явного и скрытого тепла на основе данных ежечасных измерений температуры воды и метеорологических параметров в прибрежной зоне Балтийского моря.

Материалы и методы

В 2015 году на середине переходного мостика платформы Д-6 в прибрежной зоне Калининградской области была установлена термокоса из 10 датчиков Starmon mini (производитель Star Oddi, Исландия). Датчики расположены на горизонтах: -1, 0, 1, 3, 5, 8, 10, 13, 24, 28 м. Глубина в месте установки 29 м (Мысленков и др., 2017 (1)). Для расчетов использовались данные температуры воды с 5 августа 2015 по 25 мая 2016 на горизонте 1 м с осреднением за 1 час.

Также использовались данные метеостанции, расположенной на платформе на высоте 27 м над уровнем моря. Дискретность данных по времени составляет 1 час. В работе использовались следующие параметры: температура воздуха, атмосферное давление, скорость ветра. Данные о скорости ветра приводились согласно логарифмическому закону к высоте 1 м над уровнем моря.

Поток тепла - количество теплоты, переданное через изотермическую поверхность в единицу времени. Обычно поток тепла выражается в Вт/м^2. Известно, что суммарный поток тепла Q складывается из потоков явного тепла Qh и скрытого тепла Qe.

Для расчета потоков тепла использована методика, описанная в работах (Лаппо, Украинский, 1989; Дубравин, 2014), где турбулентные потоки тепла рассчитываются на основе данных о температуре воздуха, воды, атмосферного давления и скорости ветра. Расчет производился по следующим формулам:

$$Qн = Cp*\rho*C_T*(Tw - Ta)*W;$$

$$Qe = L\rho*0{,}622/P_0*C_E*(E_{0W} - Ea)*W,$$

где Cp — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении — 1,009 кДж/кг°К; ρ — плотность воздуха (принималась равной 1,265 кг/м3); Tw — температура воды на поверхности (°С); Ta — температура воздуха (°С); W — скорость приводного ветра (м/с); L — удельная (скрытая) теплота парообразования — 2 256 кДж/кг (при Tw = 100 °С); P_0 — атмосферное давление на уровне моря (гПа); Ea — упругость водяного пара (гПа); E_{0W} — максимальная упругость водяного пара (гПа) при температуре воды Tw (°С).

Коэффициенты обмена теплом и влагой при расчетах использовались следующие C_T= 1,55*10^{-3}, C_E=2,02*10^{-3}, согласно работе (Гулев, Украинский, 1989). В расчетах использовалась температура воздуха на высоте 27 м и температура воды на глубине 1 м.

Предварительно данные о температуре воды прошли процедуру фильтрации, так как в некоторые моменты времени при сильном волнении датчик эпизодически оказывался на воздухе и в данных возникали соответствующие выбросы (Мысленков и др., 2017 (2)).

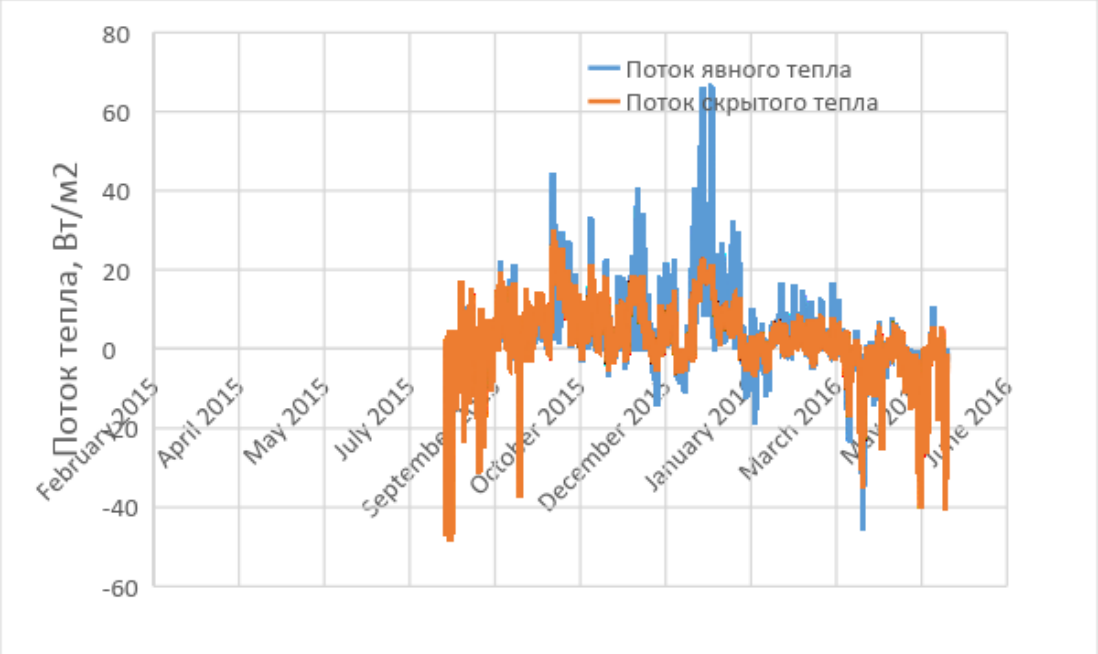


Рис.1 Изменчивости потоков явного и скрытого тепла с 05.08.2015 по 25.05.2016.

Результаты

В результате были получены данные о потоках явного и скрытого тепла в прибрежной зоне Балтийского моря с шагом по времени 1 час для периода с 05.08.2015 по 25.05.2016. Положительным в нашем случае является поток из океана в атмосферу. Графики изменчивости потоков явного и скрытого тепла представлены на рис 1. Максимальное значение потока явного тепла составило 66 Вт/м^2, минимальное значение -45 Вт/м^2. Максимальное значение потока скрытого тепла составило 30 Вт/м^2, минимальное значение -48 Вт/м^2.

Минимум скрытого потока тепла наблюдается в летние периоды, что видимо связано с конденсацией. Максимум же наблюдается в зимний период, что, в свою очередь, связано

с разницей в температуре между океаном и атмосферой (в зимний период океан теплее атмосферы).

Максимум потока явного тепла наблюдается также в зимний период, так как океан отдает тепло в атмосферу. Как видно на Рис.1 потоки явного тепла летом направлены с океана в атмосферу, а летом из атмосферы в океан. Это связано с интенсивным летним прогревом.

Средний показатель потока явного тепла за все время составляет 3,24 Вт/м^2, а средний поток скрытого тепла составил 2,82 Вт/м^2. Данные величины нельзя считать среднегодовыми, так как используемый в расчетах ряд имеет длину менее года. Если рассматривать среднемесячные значения потоков тепла, то максимальный поток явного тепла наблюдается в январе (14 Вт/м^2), а минимальный в мае (-4 Вт/м^2).

Список литературы

В.Ф. Дубравин «Эволюции гидрометеорологических полей в Балтийском море», АО ИО РАН. — Калининград: Капрос, 2014. — 438 с.: ил.

Гулев С. К., Украинский В. В. Роль различных временных масштабов в процессах энергообмена океана и атмосферы // Изв. АН СССР. ФАО. — 1989. —Т. 25. — № 7. — С. 675–687

Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. Balt. Sea Environ. Proc. No. 137

Мысленков С.А., Кречик В.А., Бондарь А.В. Суточная и сезонная изменчивость температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по данным термокосы на платформе Д-6 // Экологические системы и приборы. 2017. № 5. с. 25-33.

Мысленков С.А., Кречик В.А., Соловьев Д.М. Анализ температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по спутниковым данным и измерениям термокосы // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, выпуск 364, 2017. с. 159-169

Variability of heat fluxes in the coastal zone of the Baltic Sea according to thermo-chain and weather station data

Mihailov V.A.*, *Myslenkov S.A.

Moscow State University. M.V. Lomonosov Moscow, Russia

vladk100@mail.ru

Abstract: In this paper, the variability of heat fluxes from the ocean to the atmosphere in the coastal zone of the Baltic Sea is considered. Heat fluxes were calculated on the basis of thermos chain data and weather stations installed on the D-6 platform. Data for 2015-2016 are analyzed. According to calculations, the average value of the apparent heat flux over the entire calculation period was 66 W/m^2, the minimum value being -45 W/m^2. The maximum latent heat flux was 30 W/m^2, the minimum value being -48 W/m^2.

Keywords: Heat flow, water temperature, thermo chain, Baltic Sea, coastal zone.

Водный режим рек России. Урал. Река Ай

Мякишева Н.В., Горбатенко А.А.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
bixtuw1997@gmail.com

Аннотация: Проведен вероятностный анализ внутригодовой и межгодовой изменчивости речного стока р. Ай с применением теории случайных процессов. Результаты анализа обобщены в терминах вероятностной модели. Оценена регулирующая способность водосбора и техногенных сооружений.

Ключевые слова: речной сток, разномасштабная изменчивость, вероятностный анализ, моделирование, квантильный анализ, случайный процесс

Введение

В условиях развития объектов экономики и роста городов в современной России изменение водного режима водных объектов очевидно. Также наблюдается изменение климатических условий – факторов формирования гидрологического режима водных объектов. Выявление особенностей гидрологического режима рек с учетом изменений климата и определение характерных его отличий, возникших при антропогенном вмешательстве в данных условиях особенно актуально.

Бассейн р. Ай расположен в горно-лесной зоне. Рельеф бассейна сильно расчленен. Склоны хребтов вверху крутые, в средней части встречаются нагорные террасы, внизу склоны пологие. Река протекает по территории Челябинской области и Республики Башкортостан. Верхняя часть бассейна расположена в пределах горной и предгорной территории Южного Урала. Остальная его часть лежит на Юрюзано-Айской равнине и Уфимском плато.

Река Ай берет начало из болота Клюквенное в 2 км к юго-западу от кордона Южный и в 40 км к юго-западу от г. Златоуста Челябинской области, впадает в р. Уфу слева на 382 км от устья, относится к бассейну р. Волга (р. Уфа - р. Белая - р. Кама - р. Волга). Длина реки 549 км. Общее падение реки 714 м, средний уклон 1,3‰. Площадь водосбора 15000 км^2, густота речной сети 0,44 км/км^2.

Челябинская область является одной из ведущих в Российской Федерации по уровню промышленного развития, что в существенной мере определяется ее мощной минерально-сырьевой базой. Водоснабжение объектов экономики и населения города Златоуст производится преимущественно за счет поверхностных вод, в частности - водохранилищ. Сложные гидрогеологические условия (низкий дебит) не позволяют использовать подземные воды бассейна реки Ай, как основного источника водоснабжения.

Материалы и методы

Речной сток рассматривался как вероятностный полициклический процесс с основными энергонесущими зонами в диапазонах частот, соответствующим многолетним и внутригодовым колебаниям.

Для анализа многолетней изменчивости использовались ряды среднегодовых расходов и ежегодные последовательности значений для характерных месяцев года, которые рассматривались как стационарные случайные процессы, привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта (Мякишева и др., 1988,1994).

Для выявления особенностей внутригодовых колебаний использовались ряды среднемесячных расходов, интерпретируемые как периодически коррелированные случайные процессы. Для обобщения результатов анализа привлекались вероятностные модели в терминах, которых оценивалось влияние техногенных сооружений на водный режим реки. На реке Ай созданы водохранилища сезонного регулирования.

Многолетние колебания водности реки

В работе использовались данные о среднемесячных и среднегодовых расходах воды реки Ай по данным наблюдения на четырех гидропостах Росгидромета: п. Веселовка, г. Златоуст, с. Лаклы, с. Новая Пристань за период с 1936 – 2015 гг. Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и среднемесячной и среднегодовой температуре воздуха по наблюдениям на метеостанциях Златоуст и Таганай гора за период с 1946 – 2015 гг. База данных была сформирована преимущественно с помощью публикаций издательства Гидрометеоиздат и «НЕДРА».

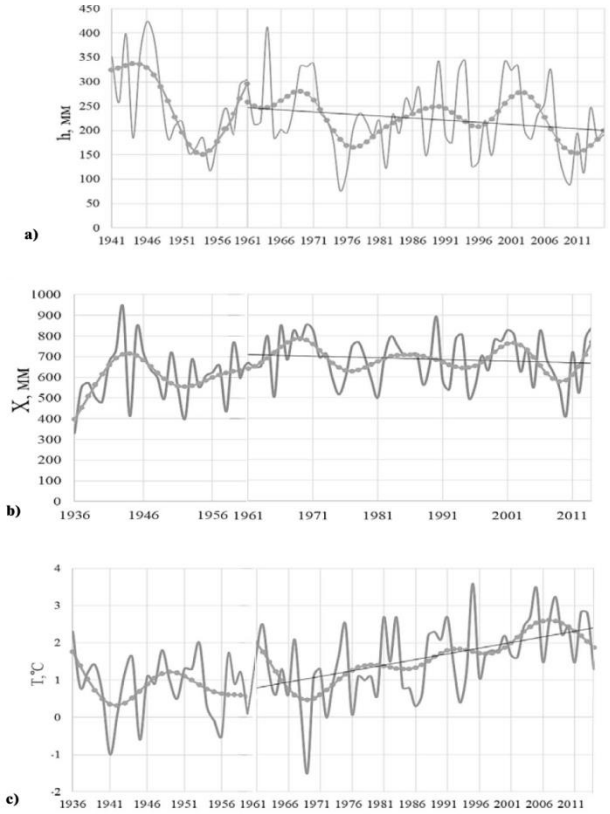


Рис.1 Реализации гидрометеорологических характеристик, г. Златоуст a) слой стока, b) годовые суммы осадков, c) среднегодовые температуры

Деление периода наблюдений на две части для последующего анализа оправдано наличием фактора изменения стока, а именно антропогенной нагрузки на сток с начала 1960-х годов.

Для оценки водности рек производился расчет квантилей: каждый временной ряд рассматривался как реализация случайного процесса x(t), за основную вероятностную характеристику которого принималась функция распределения $F(x_p)$ и ее квантили x_p. На основе пяти квантилей $\chi_{min}\chi_{0.25}\chi_{0.5}\chi_{0.75}\chi_{max}$ оценивались R – размах, Q – интерквантильное расстояние, T* - трехсреднее значение, а также χ_B и χ_H – верхняя и нижняя границы распределения данных в ряду.

С помощью квантильного анализа были выявлены многоводные и маловодные годы по всем рассматриваемым пунктам наблюдений. Для многих рек Южного Урала 1964 год был выдающимся по водности, т.к. в этом году имел место летний паводок, обусловленный обильными осадками в июне-июле. Однако экстремальные многоводные,

как и экстремально маловодные года, в конкретных пунктах в ходе анализа среднегодовых значений не наблюдаются.

Для определения тенденции или тренда повышения или понижения значений временных рядов использовалась цифровая тангенсная низкочастотная фильтрация Баттерворта.

Временной ход слоя стока за период после строительства водохранилищ практически повторяет все особенности временного ряда сумм осадков как по долгопериодной изменчивости, так и по чередованию выделенных циклов. Имеются согласованные тренды на понижение слоя стока и годовых сумм осадков. Тренд температуры воздуха на повышение имеет обратный тренду слоя стока ход, что логично: чем выше температура, тем больше испарение и меньше доля стока.

Внутригодовые колебания речного стока

При рассмотрении реализаций средних месячных расходов воды за период с 2000 по 2013 гг. видно, что набор основных фаз внутригодового водного режима и особенности формирования межгодовой изменчивости стока отражают свойства рек восточно-европейского типа.

Графики оценок m(t) имеют вид кривых с выраженным продолжительным половодьем. Основной максимум наблюдается в период весеннего половодья (апрель, май). Максимум дождевых паводков наблюдается в июне-августе. Минимумы на кривых математического ожидания m(t) соответствуют зимней межени. Кривые дисперсии D(t) практически повторяют особенности кривых математического ожидания m(t).

Результаты расчета коэффициентов зарегулированности реки Ай имеют незначительный разброс от верховья к низовью (от 0,6 до 0,65), его рост прослеживается по мере трансформации стока водохранилищами сезонного регулирования.

Обобщение результатов анализа временной изменчивости речного стока в терминах вероятностной модели вида

$$\boldsymbol{\beta}_{1t}=\varphi_{i,1}\boldsymbol{\beta}_{i,\,t-1}+\varphi_{i,\,2}\boldsymbol{\beta}_{i+1,\,t-1}+\boldsymbol{\varepsilon}_{it}+\mathbf{m}_i,\ i=1,\ \ldots,\ 12,\ t=1,\ 2,\ \ldots\ N, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{\beta}_t=\{\beta_{1,\,t},\ \ldots,\ \beta_{12,\,t}\}$; $\boldsymbol{\varphi\beta}_{t-1}=\{\varphi_i\beta_{i,t-1},\ \ldots,\ \varphi_{12}\beta_{12,\,t-1}\}$; $\boldsymbol{\varepsilon}_t=\{\varepsilon_{1,\,t},\ \ldots\ \varepsilon_{12,\,t}\}$ – вектор белого шума с нулевым средним и дисперсией $\delta^2=\{\delta^2_1,\ \ldots,\ \delta^2_{12}\}$; $\mathbf{m}=\{m_1,\ \ldots,\ m_{12}\}$ – вектор математического ожидания; $\varphi_1,\ \ldots,\ \varphi_{12}$ – параметры модели,

позволило детализировать зарегулированность стока для отдельных месяцев года. Параметры φ_{i2} определяются через компоненты матрицы внутригодовой изменчивости, а параметры φ_{i1}– через компоненты матрицы внутригодовой изменчивости и характеризуют трансформацию стока. Параметры модели (1) приведены в таблице.

Расчеты показали, что значения параметров φ_{i2}, описывающих корреляционные зависимости внутригодовой изменчивости стока реки Ай превышают уровень значимости (0,6) для месяцев зимней и летней межени.

Отмечается увеличение продолжительности времени периодов зимней и летней межени со значимыми параметрами φ_{i1}. На гидропосту р. Ай – с. Веселовка, в меньшей степени подверженной влиянию водохранилищ, значения φ_{i1} , превышают уровень 0,6 и наблюдаются в январе, июне, сентябре – ноябре, а на гидропосту р. Ай – с. Лаклы – с сентября по февраль и в мае, июле, т.е. на четыре месяца дольше. При этом значение φ_{i1} в феврале возросло с 0,1 (с. Веселовка) до 0,7 (с. Лаклы), в мае, июле – с 0,2 до 0,6, в декабре – с 0,3 до 0,8. Таким образом, значения φ_{i1} закономерно увеличиваются по мере продвижения от верховья к низовью реки, что обусловлено наличием зарегулированности. Необходимо обратить внимание на увеличение параметров φ_{i2}, характеризующих межгодовую коррелированность речного стока в зимнюю межень от верховья к низовью. Такое увеличение параметров φ_{i2} также наблюдается при техногенном влиянии на сток.

Сопоставление значений φ_{i1} речного стока и осадков позволяет оценить регулирующую способность водосбора, которая проявляется в периоды зимней и летне-осенней межени.

Табл.1 Численные значения оценок математического ожидания расходов воды m(t), дисперсии D(t), параметров авторегрессии φ1 внутригодового и φ2 многолетнего хода стока

Характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Ай – п. Веселовка												
m(t), $м^3/с$	0.7	0.6	1.0	12.7	14.3	4.9	4.5	3.3	2.2	3.4	2.2	1.2
D(t), $(м^3/с)^2$	0.1	0.1	9.2	56.3	75.3	15.5	21.8	17.9	3.4	7.4	3.3	1.4
φ_1	0.8	0.1	-0.2	0.0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.6	0.6	0.7	0.3
φ_2	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0
р. Ай – г. Златоуст												
m(t), $м^3/с$	1.8	1.6	2.0	24.7	26.4	9.1	8.4	6.8	4.9	6.1	3.8	2.4
D(t), $(м^3/с)^2$	0.3	0.3	0.6	169	258	51.8	66	62.8	15.7	18.8	2.7	0.7
φ_1	0.8	0.6	0.2	-0.2	0.2	0.6	0.5	0.4	0.7	0.7	0.7	0.8
φ_2	0.3	0.3	0.4	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2
р. Ай – с. Лаклы												
m(t), $м^3/с$	10.6	9.7	12.0	149	133	49.8	44.3	36.7	29.1	35.6	22.8	13.6
D(t), $(м^3/с)^2$	11.8	9.2	33.3	5115	7614	1176	1449	1732	586	709	140	28.2
φ_1	0.8	0.7	0.2	-0.2	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8
φ_2	0.5	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1
Осадки МС Златоуст												
m(t), $м^3/с$	30	24	30	37	60	79	109	80	67	61	47	38
D(t), $(м^3/с)^2$	259	195	333	413	915	1722	2778	1586	1143	928	419	311
φ_1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
φ_2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0

Выводы

Тренд на понижение водности реки Ай хорошо согласуется с несущественным трендом на уменьшение осадков и значимым трендом на увеличение температуры воздуха. Для внутригодовой изменчивости стока реки Ай характерны три основных сезона: высокое половодье в апреле-мае, летне-осенние дождевые паводки и устойчивая зимняя межень.

Обобщение результатов анализа внутригодовых и межгодовых колебаний речного стока и осадков в терминах вероятностной модели позволяет оценить регулирующую способность водосбора.

Разница параметров вероятностной модели, описывающих временную изменчивость расходов воды в пункте до водохранилища и после него, отражает антропогенное влияние на сток.

Список литературы

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11, Средний Урал и Приуралье [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1973 – 848 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 11. Средний Урал и Приуралье, Выпуск 1, Кама – Л.: Гидрометеоиздат, Л., 1967, 1975, 1979.

Министерство геологии СССР. Гидрогеология СССР, Том 14, Урал [Текст] – М.: Издательство «НЕДРА», 1972 – 648 с.

Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Том 1, РСФСР, Выпуск 25, Бассейн реки Камы [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1988 – 706 с.

Гидрологический ежегодник. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Том 4. Выпуск 5-7, 1936-80 г.г.; Том 1 Выпуск 25, 1981-1999 г.г. Л., Свердловск, Обнинск.

Мякишева Н.В., Речной сток [Текст]// Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. – Т.III.Вып.1. – С.196-214

Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А. Вероятностный анализ и моделирование речного стока водосборного бассейна Балтийского моря [Текст]//Режимообразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в Балтийском море – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – С.16-34

Regime of Russian rivers. Ural. The River Ay

Myakisheva N.V., Gorbatenko A.A.
Russian State Hydrometeorological university, St. Petersburg
bixtuw1997@gmail.com

Abstract: A probabilistic analysis of annual and inter-annual variability has been carried out for the Ay river runoff with applying the theory stochastic processes. The results of analysis are generalized in terms of probabilistic model. Catchment area and technogenic structures regulating capacity estimation was made.

Keywords: river runoff, multiscale variability, probabilistic analysis, modeling, quantile analysis, stochastic process

Трансформация гидрологического режима малых речных систем внешнегорного Дагестана под влиянием климатических и антропогенных факторов

***Гуруев М.А.*[1], *Абдурашидов Д.Г.*[2], *Алиев Ш.А.*[2]**
[1]*ФГБУ «Прикаспийский институт биологических ресурсов» ДНЦ РАН, г. Махачкала*
[2]*ООО Научно-технический центр "Перспектива", г.Махачкала*
perspektivard@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены особенности хозяйственного использования малых речных систем горного Дагестана в зоне формирования стока, определена методика получения расчетных гидрологических характеристик при отсутствии наблюдений. Показано, что на фоне наблюдаемых климатических изменений интенсивное использование водных ресурсов малых речных систем приводит к деградации горных рек и комплексному негативному воздействию на водосбор.

Ключевые слова: горные реки, гидрологический режим, деградация, восстановление стока.

Введение

Природное многообразие горного Дагестана определяет различие типов водного режима больших и малых рек. Сток малых рек в регионе формируется в предгорьях, где преобладает дождевое питание, находящийся в тесной зависимости от зональных климатических условий среды. В современный период на водосборах малых рек внешнегорного Дагестана наблюдается неупорядоченный, бесконтрольный и неучтенный забор воды из поверхностных водных объектов, что приводит к существенной трансформации режима рек, а порой и к полной потере их живого стока. В этой связи актуальным является исследование основных закономерностей формирования естественного режима рек в условиях наблюдаемых климатических изменений, отсутствия данных гидрологических наблюдений и роста антропогенной нагрузки на бассейны малых рек.

Материалы и методы

Исследования пространственно-временной динамики гидрологических характеристик проводились на модельном объекте - р. Хала-Горк являющейся правым притоком малой реки Губдень-озень. В качестве исходной информации в работе использованы данные многолетних наблюдений за осадками, влажностью и температурными характеристиками на метеостанции Леваши за период с 1980 по 2017 годы. Получение расчетных значений модуля стока осуществлялось на основе анализа месячных величин "эффективных осадков" за теплый период года. Испаряемость определена по формуле Н.Н. Иванова. Площади водосборных бассейнов определены по топографическим картам М 1:25000. Границы водоразделов, интенсивность движения крупнотоннажного автотранспорта, задействованного в поливе овощеводческих культур, были уточнены в полевых условиях.

Для описания распределения вероятности среднемесячных осадков, расчетных месячных величин "эффективных осадков" использовалась известная функция распределения Крицкого-Менкеля. Изменение среднемноголетнего годового стока, обусловленное изменением климатических и антропогенных факторов, оценивалось сопоставлением полученных расчетных гидрографических характеристик с базовым периодом.

Район исследований

Река Хала-Горк – правый приток второго порядка р.Манас-озень, расположен в области среднегорного Дагестана и берет начало на северо-западном склоне хребта Варасма на высоте 2052 м. Длина реки – 47 км, площадь водосбора – 332 кв.км, средняя высота 1400 м. Средний многолетний расход воды – 1,33 $м^3/с$, а наибольший расход, определенный по следам высоких вод у с. Леваши, составил 34,8 $м^3/с$ (Гюль К.К. и др., 1961). Стационарные гидрологические наблюдения на реке не проводятся. В питании реки принимают участие талые и дождевые воды. Режим реки характеризуется интенсивными дождевыми паводками в теплую часть года и устойчивой зимней меженью.

Бассейна р. Хала-Горк находится в зоне достаточного увлажнения. Район характеризуется горным, расчлененным рельефом с значительными перепадами высотных отметок. Река протекает в V-образной долине, а в устьевой части – в ущелье. Склоны долины крутые, встречаются локальные террасы и прерывистые поймы, сложенные валунно-галечными, щебнистыми отложениями, проросшие травой, широко используемые для выращивания овощеводческой продукции. Климат в районе исследований умеренно-континентальный. Среднемноголетняя температура воздуха составляет + $6,6^0$C, а среднегодовое количество осадков по многолетним данным - 437 мм.

Особенность хозяйственного использования территории

Благоприятный климат способствует концентрации на данной территории сельского населения, развитию аграрных предприятий овощеводческой направленности. Овощеводческое направление в горных районах Республики Дагестан в последние годы динамично развивается. Важный фактор, предопределивший превращение овощеводства в традиционную отрасль сельского хозяйства Республики Дагестан, – наличие в ней высокоразвитого трудо-ресурсного потенциала, размещенного, преимущественно, в сельской местности. Данное аграрное направление является трудоемким видом агробизнеса и выступает сферой трудовой занятости для значительной части сельского населения. В условиях развала большинства сельхозпредприятий и отсутствия альтернативных видов экономической деятельности жители региона активно занимаются расширением производства овощей, в частности, белокочанной капусты.

Лимитирующим фактором расширения площадей под возделывание этой культуры является дефицит доступных водных ресурсов, испытываемый в условиях недостаточной влагообеспеченности территории в летний период года, особенно в маловодные годы. Для возделывания сельскохозяйственных культур с высоким коэффициентом водопотребления широко используются водные ресурсы малых рек в районах формирования их стока. Вследствие большой расчлененности рельефа и удаленности возделываемых участков от русел рек, для орошении массово применяется нетрадиционный способ полива овощных культур, основанный на использовании оборудованных крупнотоннажных автотранспортных средств.

Сущность данного метода полива заключается в следующем. На грузовую машину повышенной проходимости монтируется железная емкость (15-20 $м^3$), оборудованная насосной системой большой мощности, работающая на дизельном топливе. Забор воды в емкость осуществляется непосредственно из русла реки. На отдельных участках для обеспечения заезда к воде обустраиваются подъездные пути, а в русле реки делаются специальные запруды, обеспечивающие групповой забор воды в емкости грузовых автомашин. Закачка воды в емкость осуществляется по гофрированному шлангу большого диаметра. По заполнению емкости вода транспортируется на возделываемый участок и под давлением осуществляется полив методом дождевания. Среднее плечо транспортировки поливной воды достигает 12-15 км.

Изменение климата

Климат района исследований формируется при недостаточно высоком поступлении тепла и достаточном увлажнении и характеризуется неоднородностью. Ранее

опубликованные данные (Гуруев и др., 2017) и полученные в ходе этих исследований результаты (таб.1.) расширяют современные представления о существующих тенденциях изменения климата на территории предгорной и горной частях Дагестана. Рост среднегодовой температуры воздуха, обусловленный повышением весенне-летних температур в горной части бассейна исследованной реки наблюдается с 1980 года. Коэффициент множественной регрессии для уравнения равен 0.82, коэффициент детерминации 0.67, стандартное отклонение – 0.9. Построенная регрессия объясняет 42% разброса межгодовых летних значений температуры относительно среднего, что близко для использования полученного уравнения в целях прогноза.

Числовые характеристики изученного временного ряда среднегодовой температуры воздуха определяют выборочное распределение близким к нормальному. Интервал значений среднегодовых температур находиться в пределах $4{,}4^0$C. Минимальное значение достигает +8.3 ^{0}C, а максимальное +12.7 ^{0}C при среднем значении равном +10.54 ^{0}C . При уровне значимости 95 % стандартное отклонение составляет 0,95, а стандартная ошибка коэффициента наклона не превышает 0.01.

Поскольку t_β-критическое значение (2.028), при уровне значимости 0.05 и числе степеней свободы v=n-2, по абсолютной величине меньше полученного значения t_b, то нулевая гипотеза об отсутствии зависимости роста среднегодовой температуры ($t_г$) за рассматриваемый период времени отвергается. Зависимость статистически значима, а вероятность ошибки не превышает 0.05. Доверительный интервал для истинного значения коэффициента наклона (β) при 95% уровне значимости находиться в пределах от 0.0915 до 0.148. В доверительную область для значений среднегодовых температур воздуха заданной вероятности (95%) не попадает только одна точка.

Таблица 1. Оценка параметров регрессионной статистики временной динамики температуры воздуха за 1980-2017 годы

№ п/п	Параметры величин	Месяцы												Среднегодовой
		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
1	Ст.ошиб. рег., S_r	1.97	2.56	2.32	2.2	1.48	1.39	1.68	1.7	1.57	1.75	2.2	2.7	0.95
2	Коэф.детерм., R^2	0.2	0.35	0.51	0.19	0.48	0.47	0.3	0.56	0.49	0.5	0.16	0.05	0.67
3	Коэф.мн.рег., R_m	0.45	0.59	0.71	0.44	0.69	0.68	0.54	0.74	0.7	0.71	0.4	0.2	0.82
4	Коэф.наклона, b	0.09	0.13	0.21	0.1	0.13	0.12	0.1	0.17	0.14	0.15	0.09	0.05	0.12
5	Коэф.сдвига, a	-4.7	-5.2	-2.1	6.32	10.2	14.5	17.1	15.5	11.9	5.77	1.39	-2.4	5.8
6	Ст.ошибка , S_b	0.03	0.04	0.03	0.73	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01
7	Ст.ошибка, S_a	0.65	0.84	0.77	0.03	0.05	0.46	0.55	0.56	0.52	0.58	0.75	0.89	0.3
8	Крит. Стьюд., t_b	3.01	4.4	6.1	8.6	5.8	5.6	3.9	6.7	5.9	6.0	2.6	1.46	8.5
9	Крит. Стьюд., t_a	-7.2	-6.1	-2.7	2.9	9.9	31.4	30.6	27.5	22.2	9.9	1.85	-2.7	9.9

Выбранная линейная модель прогноза ежегодного прироста температуры воздуха показывает значение равное 0.12˚С. За рассматриваемый период среднегодовая температура воздуха повысилась на 4.5˚С, а расчетное значение среднемесячной температуры воздуха месяца март – 7.8˚С. Выбранная линейная модель объясняет 85 % общей вариации среднегодовой температуры воздуха. Напротив, анализ многолетних

данных осадков в бассейне рассмотренной реки не выявляет трендовой закономерности. Анализ временного ряда осадков в летный период по ГМС Леваши выявляет лишь слабую разнонаправленную линейную зависимость с коэффициентом детерминации 0.12 – 0,16. В многолетнем ряду наблюдений август месяц характеризуется слабовыраженной тенденцией снижения осадков. Также основные расчетные показатели гидрометеорологических факторов значимо не изменяются во времени. Так, "эффективные осадки" и испаряемость характеризуются среднемноголетними значениями 139.78 и 384.4 мм/год с коэффициентами вариации 0.53 и 0.148.

Восстановленный сток

С целью оценки водоресурсного потенциала малых речных систем внешнегорного Дагестана, в условиях наблюдаемых климатических изменений и роста антропогенной нагрузки, проведено исследование основных закономерностей динамики гидрологического режима. В рамках данного исследования по расчетным месячным величинам "эффективных осадков" (Добровольский, 2017) построены эмпирические кривые обеспеченности и получены параметры теоретического распределения Крицкого-Менкеля для условно-естественного стока (Георгиади и Кашутина, 2016). Сопоставляя эмпирические и теоретические кривые распределения (рис.1) можно отметить, что в интервале обеспеченностей от 5 до 95% кривые дают близкие результаты. Расхождение кривых отмечается в зоне больших обеспеченностей, которое становиться более ощутимым в зоне малых обеспеченностей.

Средний многолетний расход восстановленного годового стока составляет 1.5 $м^3/с$ при стандартном отклонении, равном 0.78, и коэффициенте вариации – 0,52. Относительная ошибка среднего не превышает 13%. Анализ временного ряда восстановленных значений стока не выявляет трендовой закономерности роста ($R^2<0.1$). Однако за исследуемый период расчетное значение среднего многолетнего расхода воды на 12.7 % больше относительно базового периода.

Распределение стока в году весьма неравномерно. Наибольший месячный сток преимущественно проходит в июне (15,6%), когда наблюдается максимальное в году количество осадков. Наименьший месячный сток наблюдается в январе, реже в декабре или феврале и не превышает 5% от среднего многолетнего стока, равного 47.3 $млн.м^3$. Теплый период года характеризуется началом фазы пониженного стока, переходящей в бессточный период. В маловодные годы бессточный период наблюдается в сезон вегетации, а в годы повышенной водности сток не формируется в течение 2-3 весенне-летних месяцев. На снижение стока, помимо гидрографических и климатических условий территории, активное влияние оказывает хозяйственная деятельность на водосборе.

Антропогенное воздействие

За исследуемый период интенсивность антропогенного воздействия на речной сток рассматриваемых малых рек внешнегорного Дагестана претерпела значительные изменения. Ведущее место среди антропогенных факторов занимает суммарный водозабор и безвозвратное изъятие речных вод в целях полива прогрессирующе расширяющихся площадей белокочанной капусты. С учетом коэффициента природной увлажненности территории, равной 0.47, и норм водопотребления, суммарно равных 1280 $м^3/га$ для года 75% обеспеченности, потребное количество воды для орошения плантаций белокочанной капусты составляет 6.4 $млн.м^3$ за сезон.. За счет выпадения естественных осадков обеспечивается 33.8% (433.2 $м^3/га$) оросительной нормы полива. Дефицит оросительной нормы, оцениваемый за поливной сезон в 4.234 $млн.м^3$, покрывается за счет забора воды из реки.

Расчетное значение среднего годового стока воды 75% обеспеченности составляет 29.0 $млн.м^3/год$, в том числе за вегетационный период – 8,03 $млн.м^3$. В период вегетации растений формируется менее 30% от годового стока реки 75% обеспеченности. Объем безвозвратно изымаемой для нужд орошения плантаций капусты воды оценивается в

4.234 млн.м^3. Коэффициент использования вод малых речных систем в зонах их формирования на сельскохозяйственные нужды превышает 14.6% от годового стока или около 52.7 % от стока формируемого за период вегетации.

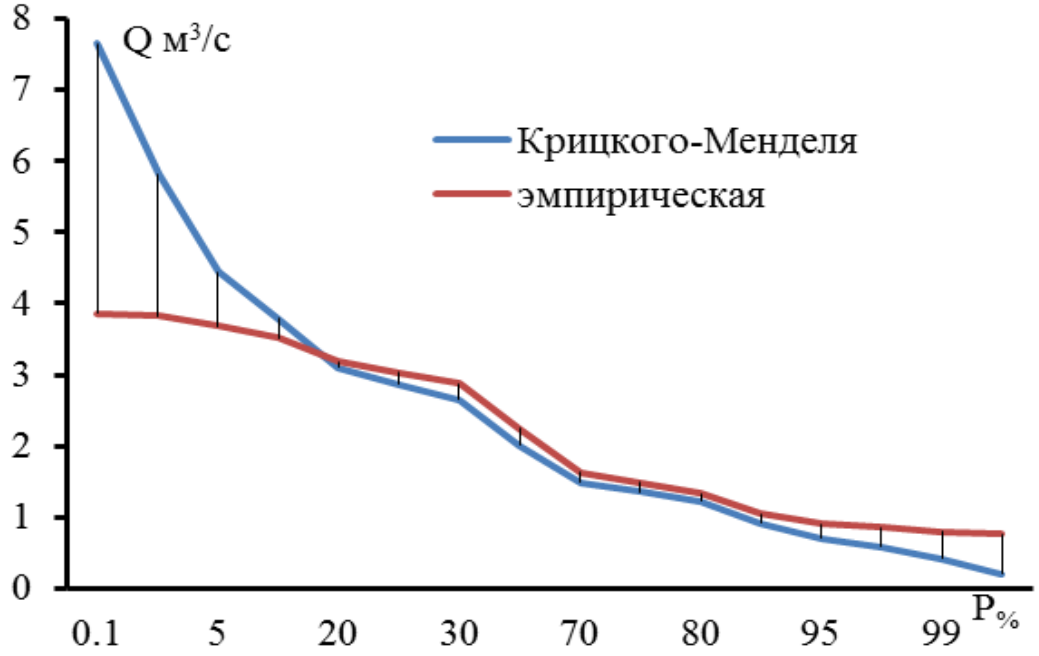


Рис. 1 Кривые обеспеченностей условно-естественного стока р. Хала-Горк – устье

Водные ресурсы рассматриваемой реки интенсивно используются для полива около 5 тыс.га плантаций белокочанной капусты. Для подачи используемой поливной воды на плантации необходимо более 200 тыс. рейсов специально оборудованных машин за сезон. В отдельные периоды суток по местным дорогам наблюдается караванное движение специально оборудованных крупнотоннажных автотранспортных средств, осуществляющих транспортировку поливной воды на возделываемые плантации. Это оказывает комплексное негативное воздействие на состояние горных территорий, приводит к деградации малых речных систем, потере их живого стока. Как видно из схемы пространственной локализации возделываемых участков, большая часть воды транспортируется за пределы исследуемого водосбора. В долгосрочном аспекте отсутствие сплошного промачивания зоны аэрации русла закономерно может сказаться также и на объеме формирования грунтовых вод бассейна реки.

Выхлопные газы грузового автотранспорта, используемого на пересеченной местности рельефа для полива овощных культур, активно воздействуют на состояние загрязненности приземного слоя атмосферы. Уровень этого воздействия можно оценить, проведя несложный расчет выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух по удельным показателям сжигания топлива автотранспортом, задействованным в транспортировке поливной воды. За поливной сезон общее количество выбрасываемых в приземный слой атмосферного воздуха автотранспортом загрязняющих веществ оценивается в сумме 671 тонн, в том числе: оксид углерода – 253.1 тонн; углеводороды – 75.6 тонн; диоксид азота –100.8 тонн; сажа – 39.2 тонн; диоксид серы – 50.4 тонн.

Выводы

Анализ временного ряда выявляет нестационарный характер многолетних колебаний среднегодовой температуры воздуха. За рассмотренный период статистически значимый

ежегодный прирост температуры воздуха составил 0.12^0C. Наибольший прирост температуры воздуха регистрируется в весенний период.

Расчетные величины "эффективных осадков" позволяют удовлетворительно описать гидрограф стока на малом водосборе. Среднемноголетнее значение условно-естественного стока значительно больше относительно базового периода. Однако, вследствие интенсивного антропогенного воздействия, режим малых речных систем подвергается существенной трансформации, а водосбор – комплексному негативному воздействию.

Список литературы

Гюль К.К., Власова С.В., Кисин И.М., Тертеров А.А. Реки Дагестанской АССР. Махачкала, 1961. 260 с.

Гуруев М.А., и др. Исследование влияния природно-климатических и антропогенных факторов на изменение гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режима малых речных систем Внешнегорного Дагестана // Всероссийская научная конф. «Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения». Сочи, 2017. С. 329-334.

Добровольский С.Г. Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы. М.: ГЕОС, 2017. С.526.

Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. №5. С.70-81.

Укрупненые нормы водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур Центрального, Приволжского, Уральского, Сибирского, Южного и Северокавказского федеральных округов. Стандарт организации СТО. Минсельхоз РФ. М., 2013. с 54.

The transformation of the hydrological regime of small river systems of Dagestan under the influence of climatic and anthropogenic factors

***Guruev M.A.*[1], *Abdurashidov D. G.*[2], *Aliev Sh. A.*[2]**

[1]*The Federal state budget institution of science "Prikaspiskiy institute of biological resources", Makhachkala*

[2]*The limited liability company Scientific-technical center "Perspektiva", Makhachkala*

perspektivard@mail.ru

Abstract: Features of economic use of small river systems of the Dagestan mountains in a zone of a drain formation are considered, the technique of obtaining of calculated hydrological characteristics in the absence of observations is defined. It is shown that on the backdrop of observed climatic changes the intensive use of water resources of small river systems leads to degradation of mountain rivers and complex negative impact on the catchment area.

Keywords: mountain river, hydrological regime, degradation, drain restoration.

Региональные аспекты трансформации гидрологического режима рек верхнего Дона

Дмитриева В.А.
Воронежский государственный университет (ФГБОУ ВО «ВГУ»)
verba47@list.ru

Аннотация: Природные процессы остаются относительно неизменными до тех пор, пока не появляются внешние или внутренние силы, способные изменить устоявшееся равновесие. Глобальная перестройка климатической системы, которая закономерно и отчетливо проецируется на региональный уровень, выступает фактором трансформации компонентов отдельных звеньев и в целом природной речной системы. Устойчивое повышение приземной температуры воздуха оказывает прямое или опосредованное воздействие на элементы гидрологического режима рек. Благодаря возрастанию температуры воздуха холодного периода участились зимние оттепели, а вследствие этого возрос зимний сток в реках Верхнедонского бассейна. Неглубокое промерзание почвы осенью и зимой стало одной из причин высокой фильтрации воды во время снеготаяния, снижения объема стока весеннего половодья и более позднего формирования экстремума водности. В текущем столетии объем весеннего стока составляет в бассейне Дона менее 50 %, а в бассейне Хопра – свыше 50 %. Продолжительность половодья увеличилась примерно на 10-15 суток, а период межени сократился на тот же срок. При этом происходит внутригодовое выравнивание стока за счет возрастания доли стока межени и сокращения доли стока многоводной фазы водного режима. Характерной чертой водного режима является тенденция снижения максимумов стока и увеличения минимумов стока. Вследствие повышения температуры воздуха среднегодовой и холодного полугодия уменьшилась продолжительность ледостава на реках, а само понятие «устойчивый ледостав» приобретает в отдельные годы условность. В бассейне Дона в 1990, 2000, 2004, 2011 гг. постоянный ледяной покров на отдельных реках отсутствовал. Трансформация гидрологического режима рек Верхнего Дона в бассейнах собственно Дона и собственно Хопра, представляющие в верховье главной реки две обособленные речные системы, имеют сходства и различия. Главные тенденции в гидрологическом режиме рек совпадают, но, например, сроки наступления половодья, формы гидрографа, характер ледообразования, продолжительность половодья и др. в отдельные годы отличаются, подчеркивая тем самым географическую природу стока и его зависимость от физико-географических условий.

Ключевые слова: Верхний Дон, гидрологический режим, экстремумы водности, ледовый режим

Введение

Современный гидрологический режим рек является откликом на сложные климатические процессы, происходящие в приземной атмосфере в планетарном масштабе. Глобальные природные реконструкции в воздушной оболочке Земли порождают региональные изменения увлажнения и температуры воздуха, за которыми следует трансформация ландшафтов, почвы, биоты, водных объектов. В настоящем исследовании особое внимание уделяется современным чертам гидрологического режима рек Верхнего Дона с привлечением к анализу климатических и метеорологических событий, состояния поверхности водосбора.

Площадь бассейна Верхнего Дона до границы Воронежской и Ростовской области вместе с площадью Хопра до границы Воронежской и Волгоградской области составляет

143 000 км^2. В бассейне Верхнего Дона частично или полностью располагаются Тульская, Рязанская, Липецкая, Тамбовская, Курская, Белгородская, Воронежская, Пензенская, Саратовская, Волгоградская области. Водопользование в административных субъектах оказывает воздействие в большей степени на качество воды, создавая эпизодически или постоянно гидроэкологические проблемы. Крупные водозаборы из рек отсутствуют, за исключением изъятий из реки Дон для нужд Нововоронежской атомной электростанции. Поэтому современные изменения в гидрологическом режиме водных объектов являются, главным образом, ответной реакцией на динамику климата.

Материалы и методы

Источником гидрологической информации являются материалы наблюдений на стационарных гидрологических постах государственной сети мониторинга на водных объектах, расположенных на главной реке Дон и ее притоках Красивая Меча, Сосна, Воронеж, Лесной Воронеж, Девица, Битюг, Тихая Сосна, Хопер, Савала, Ворона. Всего использовано для анализа элементов гидрологического режима 25 стационарных пунктов, расположенных Для каждого поста за весь период наблюдений составлены многолетние ряды годового и сезонного стока, максимальных расходов весеннего половодья, минимальных расходов межени. Продолжительность рядов наблюдений для большинства рек составляет 55-80 лет. Исключение составляют р. Дон – ст. Казанская (124 года), р. Дон - г. Лиски (119 лет), р. Хопер – г. Поворино (118 лет), р. Ворона – с. Чутановка (104 года), на которых ряды наблюдений превышают указанный диапазон и являются репрезентативными пунктами. Самый короткий ряд наблюдений на р. Воронеж – с. Чертовицкое (39 лет), но данный пункт принят для анализа, так как характеризует режим реки перед расположенным ниже по течению искусственным водоемом – Воронежским водохранилищем, и служит для сравнительной характеристики элементов ледового и термического режима водных объектов. По материалам наблюдений государственной сети мониторинга рассчитаны объемы весеннего стока, стока половодья и межени, определена доля сезонного стока в годовой величине. Обработка материалов выполнена традиционными методами математической статистики, картографирования, гидрологической аналогии и других с применением современных программных средств для компьютерной техники.

Результаты

Значительная протяженность бассейна и природные различия проявляются в своеобразии режима тепла и влаги, которые формируют современные черты гидрологического режима. Бассейны исследуемых рек лежат преимущественно в лесостепной зоне, а южная часть - в степной зоне. Географическая зональность элементов природы проявляется в режиме речного стока, что особенно заметно на примере бассейнов собственно Дона и собственно Хопра, сливающихся в единый бассейн за пределами Верходонья. Верхняя часть Хопра располагается в более суровых природных условиях, чем верховье Дона, а поэтому характеризуется большей устойчивостью и продолжительностью зимы, более ранним образованием снежного покрова, мощностью его залегания, и более поздним сходом снега. Различия в ледообразовании и вскрытии рек ото льда тоже различаются. Более раннее снеготаяние в средней части Хопра, чем в верховье, приводит к образованию двух волн половодья на территории Воронежской области, куда втекает Хопер из Саратовской области. Первая, местная волна весеннего половодья образуется примерно на 7-10 дней раньше, чем вторая волна, которая формируется за счет притока талой снеговой воды из верховий реки. Подобное гидрологическое явление на реке Хопер наблюдается не ежегодно, но в текущем столетии отмечалось дважды, в 2012, 2014 годах.

Общей чертой водного режима рек бассейна Дона является снижение максимальных экстремумов, увеличение минимального стока межени, увеличение продолжительности

половодья, сокращение амплитуды расходов воды в году, сезонное перераспределение речного стока, снижение доли объема весеннего стока и увеличение стока межени.

При общих бассейновых тенденциях в режиме стока существуют и весьма заметные различия. Так в бассейне отсутствует синхронность в годах экстремальной водности. К примеру, за последнюю треть прошлого столетия и за годы текущего столетия экстремальная водность в реке Дон у г. Задонск и г. Лиски сформировалась в 1970 г., реке Хопер у г. Поворино и г. Новохоперск – 1994 г., а в реке Битюг у г. Бобров значительно раньше, в 1953 г. Подобные различия во времени наступления исторических максимумов объясняются многофакторностью генезиса максимального стока. Велика роль в формировании экстремальной водности метеорологических условий накануне и в период снеготаяния. В качестве иллюстрации к сказанному приводится характеристика половодья р. Дон у г. Лиски и р. Битюг – г. Бобров в 2016 и 2017 годах. Продолжительность половодья в реке Дон и левобережном притоке Дона реке Битюг превзошла средние статистические значения. Так, половодье на Дону длилось 82 суток, образовав самое растянутое половодье за весь период наблюдений и превысив среднее значение почти на 20 суток. Причиной подобной аномалии стали затяжные и обильные дожди, которые на спаде половодья сформировали мощный многосуточный дождевой паводок – атипичную фазу водного режима для Дона в данное время года.

Также рекордно продолжительным было половодье в 2016 году на реке Битюг. Ветвь подъема весеннего половодья сформировалась от начала половодья до его пика в период с 23 февраля по 12 мая. Отмечалось запаздывание даты наступления максимума, приходящейся чаще всего на вторую декаду апреля. Но закончилось половодье только 16 июля. Продолжительность многоводной фазы водного режима составила 175 суток. Причина – в усиленной активности циклонов и обильных атмосферных осадках, превысивших норму для данного периода в 4,5 раза.

Нетипичное прохождение весеннего половодья 2017 года было предопределено особым состоянием поверхности речных водосборов перед образованием снежного покрова осенью и накануне снеготаяния. В зимний сезон 2016-2017 года выпало такое количество осадков, которое смогло бы образовать достаточно мощное половодье. Но половодье, вопреки ожиданиям, было очень низким: вода не вышла из русловой емкости на пойму. Причина заключается в том, что промерзание почвы за зиму было очень низким. Так, максимальная глубина промерзания в Воронежской области была 33 см, а местами не превышала 20 см при средней величине в текущем столетии 60-70 см. Талое состояние почвы в конце осени и неглубокое промерзание почвы зимой способствовало быстрому ее оттаиванию весной и фильтрации воды в почво-грунты. Можно говорить о синхронности динамики максимальных расходов воды и глубины промерзания почвы.

По причине неглубокого промерзания почвы происходит смещение даты наступления максимума весеннего половодья на более поздние сроки. Максимум стока формируется только после того, как вода насытит почву, заполнит все ложбинки на поверхности, и только после этого образуется склоновый сток.

При интенсивном снеготаянии, которое возможно при стремительном притоке инсоляции в сочетании с глубоким промерзанием почвы, вероятность образования паводка, предшествующего основной волне половодья, весьма велика. Подобные паводки в результате зимних оттепелей особенно характерны для малых рек. Так в марте 2010 года на реке Россошь у пгт Подгоренский, правом притоке Дона, образовался очень мощный паводок, ставший следствием резкого потепления воздуха от – 5 °С до + 15 °С в течение 5 суток и быстрого схода снега. Площадь водосбора, составляющая до створа измерений всего 454 км^2, стала одновременно активной, что и привело к образованию очень высокой водности в реке.

Внутригодовая динамика речного стока характеризуется снижением объемов стока весны, увеличением объемов стока осени и особенно зимы и их долевого соотношения в годовом. Данное утверждение справедливо для рек европейской территории страны, что подтверждается рядом исследований (Джамалов и др. 2013; Георгиади и др., 2014). В бассейне Верходонья в современный период относительная доля объемов стока весны варьирует в диапазоне значений 35-60 % (Дмитриева, 2015; Дмитриева и др., 2016). Сохранение большей доли весеннего стока в годовом характерно для рек левобережья Дона, в частности, рек бассейна Хопра. Сокращение доли весеннего стока до 35 % отмечается у правобережных притоков Дона: Красивая Меча, Сосна, Черная Калитва, Тихая Сосна и других, стекающих со Среднерусской возвышенности. Снижение доли снегового питания ведет к утрате его главенствующей роли в источниках питания, что является откликом на современные климатические процессы и, главным образом, глобальное и региональное потепление. Несмотря на то, что температура воздуха не является прямым фактором формирования речного стока, при ее участии активизируются или замедляются многие гидрологические процессы, как то замерзание и вскрытие рек, зимние оттепели, которые, например, зимой 2016-2017 года следовали одна за другой и, по существу, снизили объем стока весны и максимумы стока половодья. В текущем столетии доля весеннего стока для большей части территории бассейна составляет менее 50 % (табл. 1). Снижение доли снегового питания ведет к утрате его главенствующей роли в источниках питания, что является откликом на современные климатические процессы и, главным образом, глобальное и региональное потепление.

Несмотря на то, что температура воздуха не является прямым фактором формирования речного стока, при ее участии активизируются или замедляются многие гидрологические процессы, как то замерзание и вскрытие рек, зимние оттепели, которые, например, зимой 2016-2017 года следовали одна за другой и, по существу, снизили объем стока весны и максимумы стока половодья. В текущем столетии доля весеннего стока для большей части территории бассейна составляет менее 50 % (см. табл. 1). В текущем столетии доля весеннего стока составляет более 50 % только в бассейне Хопра, т.е. в восточной части Донского бассейна. К подобному соотношению тяготеет и река Битюг. Бассейн Битюга в верховье указанной реки географически соседствует с бассейном Хопра и имеет те же физико-географические условия формирования стока.

Изменилось распределение стока по сезонам лета, осени и зимы. До начала 1960-х годов долевое соотношение сезонного стока межени было почти равномерным. В современный период в 18 из 25 пунктов наблюдений, принятых для анализа, отмечается превышение доли зимнего стока над осенним, в остальных случаях значения близки. Причиной увеличения зимнего стока стали многочисленные оттепели, характерные для слабоморозных зим в верховье Дона.

Характерной чертой современного речного стока является низкая изменчивость годового стока. Годовой речной сток мало меняется во времени и балансирует относительно среднего многолетнего значения. Поскольку годовой сток служит мерой водных ресурсов, то на основании сказанного можно утверждать, что водные ресурсы в настоящем времени не испытывают больших трансформаций.

Существенная динамика прослеживается в процессе ледообразования и ледовом режиме рек. На фоне современных климатических изменений происходит трансформация понятия «устойчивый ледостав» в бассейне Верхнего Дона. Так, в 1990 и 2001 гг. на р. Подгорная у г. Калач, в 2004 и 2011 гг. на р. Дон у г. Задонск ледостав отсутствовал в течение всего холодного периода и зимнего сезона. На реках наблюдались лишь кратковременные ледовые явления в виде заберегов и осеннего ледохода. Сократилась продолжительность ледостава и периода ледяных образований. Максимальная продолжительность периода ледостава, равная 143 суткам, наблюдается на реке Хопер. Это объясняется более суровыми условиями формирования водного режима, в том числе

ледового режима в бассейне Хопра, чем на остальной части Верхнего Дона. Средняя продолжительность периода ледостава изменяется в широком диапазоне значений от 23 суток до 105 суток. Минимум отмечается на юге, а максимум – на востоке бассейна. Продолжительность устойчивого ледообразования осенью и в начале зимы сократилась примерно на 2 недели. Устойчивый ледостав образуется в конце декабря-начале января.

Табл. 1. Доля сезонного стока в годовом речном стоке рек Верхнего Дона (Дмитриева, 2015)

№ п/п	Река – пункт	Площадь водосбора, км^2	Расчетный период, годы	Доля стока по сезонам, %			
				весна	лето	осень	зима
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Дон – Задонск	31 100	2001-2012	40.9	19.6	20.6	18.8
2	Дон –Лиски	69 500	2001-2012	42.6	17.8	19.2	20.5
3	Красивая Меча – Ефремов	3 240	2001-2012	40.0	20.0	21.7	18.3
4	Сосна – Елец	16300	2001-2012	41.3	19.1	19.4	20.2
5	Тим – Новые Савины	909	2001-2012	46.3	14.3	18.6	20.8
6	Лесной Воронеж – Заворонежская	2000	2001-2012	50.7	14.6	17.9	16.9
7	Тихая Сосна – Алексеевка	2060	2001-2012	31.2	30.1	23.5	15.1
8	Битюг – Мордово	903	2001-2012	64.3	13.9	10.3	11.5
9	Россошь – Подгоренский	454	2001-2012	39.6	16.6	22.1	21.7
10	Хопёр – Новохопёрск	34 800	2001-2012	58.6	14.8	11.3	15.4
11	Ворона – Чутановка	5560	2001-2012	58.7	15.1	12.2	14.0

Выводы

Трансформация гидрологического режима рек в значительной степени определяется современными климатическими процессами.

В водном режиме рек наблюдается сокращение доли объема многоводной фазы, соответственное увеличение стока межени и незначительная вариация годового стока относительно среднего многолетнего значения; снижение максимальных расходов воды половодья и объемов стока весны, увеличение минимальных расходов воды и стока межени.

Продолжительность половодья и периода открытого русла, свободного от ледяных образований, увеличилась.

Список литературы

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона : монография, М., МАКС-ПРЕСС, 2014: 216

Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. Современные изменения водного режима в бассейне Дона // Водные ресурсы, № 6,40, 2013: 544–556.

Дмитриева В.А. Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющихся климата и хозяйственной деятельности. Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2015: 192.

Дмитриева В.А., Бучик С.В. Генезис максимумов водности рек и изменчивость водного режима в современный климатический период // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, №5, 2016:50-62.

Regional aspects of the hydrological regime transformation of rivers in the upper Don area

Dmitrieva V.A
Voronezh state University
verba47@list.ru

Abstract: Natural processes remain relatively unaltered until the appearance of external or internal forces, capable to change well-established equilibrium. Global restructuring of climatic system, which naturally and distinctively projecting to regional scale, appears as a factor of transformation of separate elements of river system and of the whole river system itself. Sustainable increasing of surface air temperature directly and indirectly affects to the elements of rivers hydrological regime. Winter thaw became more frequent due to increasing of air temperature of cold period, that cause to winter runoff increasing in rivers of Upper Don basin. Shallow soil freezing in autumn and winter became one of the reasons of high water filtration during to snowmelt, decrease of spring flood and later formation of extreme water content. Volume of the spring flood in the Don basin contains less than 50 %, and in the Khopyor basin – more than 50 % in the current century. Duration of the flood is increased about to 10-15 days and dry weather duration decreased by this amount. Herewith take place annual adequation of runoff due to increasing of dry weather flow and decreasing of snowmelt flood. Trend of maximal runoff decline and minimal runoff raise is specific to water regime. Due to increasing of annual air temperature and cold period air temperature duration of freeze-up period is diminished and term "sustainable freeze-up" became nominal in some years. Sustainable freeze-up was absent at several rivers in the Don basin in 1990, 2000, 2004 and 2011. Transformation of hydrological regime of Don basin rivers and Khopyor basin rivers has some similar and different features because of apartness of these basins in Upper Don area. The main trends in hydrological regime of rivers are similar, but, for example, timing of the onset of spring flood, hydrograph forms, character of freeze-up, duration of flood etc. in several years differ, that underlining geographical nature of the runoff and its dependence from physiographic conditions of runoff formation zone.

Keywords: Upper Don, hydrological regime, extreme water content, ice regime

Подземный сток Окинской впадины (Восточный Саян)

Бадминов П.С.[1], Оргильянов А.И.[1], Дмитриев-Добровольский В.Е.[2]
[1]Институт земной коры СО РАН, Иркутск
[2]Иркутский государственный университет, Иркутск
vladis.box@yandex.ru

Аннотация: Количественное определение подземного стока Окинской впадины (Восточный Саян) является важной задачей в связи с необходимостью обеспечения населения, сельского хозяйства и промышленности водой необходимого качества. Окинская впадина со всех сторон окружена горными хребтами (Большой Саян, Окинский, Кропоткина, Тункинские гольцы) и представляет собой изолированную от внешнего мира горную страну, нечто вроде «Тибета в миниатюре». Определение подземного стока для рек с длительным рядом наблюдений за речным стоком производилось комплексным гидролого-гидрогеологическим методом генетического расчленения гидрографов рек с учетом изъятия части стока на наледообразование. Для неизученных рек подземный сток определялся по единичным расходам воды, полученным при проведении гидрометрической съемки зимней межени. В пределах Окинской впадины модуль подземного стока изменяется в широких пределах от 0,5 л/с*км^2 до 9,2 л/с*км^2 и зависит от ландшафтно-климатических условий, в первую очередь от величины атмосферных осадков, а также гидрогеологических условий конкретных водосборов, связанных с наличием многолетнемерзлых пород, различиями в тектонической активности на разных участках исследуемой территории.

Ключевые слова: Подземный сток, гидрограф реки, расход воды, наледообразование, зона дренирования.

Введение

Подземные воды в настоящее время являются одним из важнейших природных ресурсов. Формирование основной части подземного стока территории Присаянья происходит в горноскладчатой области, поэтому количественное определение подземного стока Окинской впадины (Восточный Саян) дает представление о величине водообеспеченности подземными водами целого региона. Исследуемый район находится на территории Алтае-Саянской горной страны в центральной части Восточного Саяна и охватывает бассейн р. Оки в ее среднем и верхнем течении. Окинская впадина имеет почти широтное простирание и охватывает долины рек Ока, Жомболок и Илез. Длина впадины 60 км, ширина 2-10 км, высота днища 1175-1400 м. С северо - запада она ограничена хр. Кропоткина с максимальной высотой 3149 м, с юго-востока – хр. Каландаришвили, входящим в состав Бельских Гольцов (макс. высота 2386 м), а с юго-запада – Сенца-Тиссинским горным массивом с высотами от 2400 до 3000 м. В геологическом строении обрамляющих горных хребтов, в основном, принимают участие верхнепротерозойские кристаллические сланцы, известняки и доломиты, нижне- и средне-палеозойские гранитоиды, неогеновые и четвертичные базальты. Днище и краевые части котловины сложены комплексом позднеплейстоценовых и голоценовых рыхлых отложений – аллювиальных, пролювиальных, ледниковых и флювиогляциальных, а также лавовым потоком из базальтов и шлакобазальтов (Выркин и Опекунова, 2015). Реки характеризует неравномерное падение, уклоны их колеблются в больших пределах. Притоки Оки отличаются невысоким весенним половодьем, устойчивой летне-осенней и

очень низкой зимней меженью. Все мелкие реки перемерзают с образованием русловых наледей.

Методы оценки подземного стока

Из всего многообразия методов оценки подземного стока, имеющийся фактический материал позволяет применить на исследуемой территории метод генетического расчленения гидрографа и гидрометрическую съемку зимней межени. Использование меженных гидрометрических съемок особенно актуально для количественной оценки подземного стока в труднодоступных районах при отсутствии данных наблюдений за стоком рек, в связи с чем, в 2015-2016 г.г. в пределах Окинской впадины была проведена зимняя гидрометрическая съемка. Минимальный меженный расход реки может рассматриваться как мера естественных ресурсов или суммарного подземного стока только при отсутствии «скрытой разгрузки», при его полном дренировании рекой и практически полном отсутствии регулирующей емкости, роль которой в сглаживании колебаний питания подземных вод во внутригодовом и многолетнем разрезе весьма существенна (Боревский и Марков, 2014). Бассейны рек из-за сложности геологического строения являются гетерогенными, поэтому створы размещались в устьях почти всех малых притоков и, по возможности, в долине главной реки Оки. Это позволяло в какой-то степени обеспечить взаимный контроль каждого измеренного расхода совокупностью предшествующих измерений и выяснить места притока подземных или поглощения речных вод. Основная задача при обработке результатов гидрометрических съемок заключается в трансформировании единичных расходов воды в среднее значение для данного месяца, года и многолетнее для получения расчетных характеристик (Ратнер, 1977). Эта задача выполнима при наличии представительных рек-аналогов.

В качестве реки-аналога использована р. Ока в замыкающем створе п. Сарам с достаточно длительным рядом наблюдений за речным стоком. В основу оценки подземного стока реки- аналога положен комплексный гидролого-гидрогеологический метод генетического расчленения речного гидрографа (Куделин, 1960) с учетом изъятия части стока на наледообразование (Шенькман, 1976). Метод, предложенный Куделиным Б.И., позволяет избежать неопределенности при расчленении гидрографа в периоды половодий и паводков, поскольку учитывает не только гидрогеологические условия водосборов, но и характер гидравлической связи подземных и поверхностных вод. Для большинства речных бассейнов Восточного Саяна характерно отсутствие гидравлической связи, так как даже в бассейнах малых рек глубина эрозионного вреза значительно превышает мощность зоны дренирования, определяемой глубиной распространения эффективной трещиноватости. В этих условиях происходит полное дренирование массивов реками, а наличие монолитных слабопроницаемых пород препятствует гидравлической связи горизонтов трещинных вод с рекой (Писарский, 1987). Процедуре расчленения и реконструкции подверглись более 70 фактических гидрографов, принадлежащих трем водосборам р. Ока-п. Сарам, р. Орлик-п. Орлик, р. Тисса-п. Балакта, два из которых расположены в центральной части Окинской впадины.

Технология расчленения и реконструкции гидрографа сводится к нахождению характерных точек на гидрографе общего речного стока и соединению их ломаной линией. Начальная (первая) точка соответствует переходу речного стока на независимый режим питания с наступлением ледовых образований и устойчивому переходу среднесуточных температур через ноль градусов. Расход реки в этот момент соответствует величине влагозапасов на начало истощения и является исходным для расчета экспоненциальной кривой (реконструкция). Вторая точка соответствует началу таяния ледяного покрова и наледей. Очевидно, что в этот момент величина речного стока равна действительному

притоку подземных вод из дренируемых реками водоносных горизонтов (Кравченко и Гизетдинов, 1991). При отсутствии гидравлической связи поверхностный сток совпадает по фазам с подземным с некоторым смещением во времени, обусловленным различной скоростью добегания поверхностных и подземных вод в русло. В этом случае максимуму половодья будет соответствовать минимум подземного стока. Эта точка будет третьей переломной на гидрографе речного стока. После прохождения пика половодья подземный сток в реке начинает возрастать. При слабой гидрогеологической изученности горных районов (отсутствуют совместные наблюдения за речным стоком и стоком опорных родников для определения коэффициента динамичности) может быть применена схема расчленения по Воскресенскому К.П., учитывающая общее повышение подземного стока к концу половодья. Поэтому соединяем прямой линией точки 1 и 3 (Попов, 1968). Для учета изъятия части стока на наледообразование проведена реконструкция гидрографов рек в зимний период по экспоненциальному уравнению, предложенному Буссинеском для описания интенсивности уменьшения дебита родников в периоды отсутствия питания подземных вод (Соколов и Саркисян, 1981):

$$Q = Q_0 e^{-\alpha(t_2 - t_1)}$$, где

$t = t_2 - t_1$ – период сработки запасов, с; Q – расход воды в период времени t, м^3/с; α – коэффициент истощения, характеризирующий скорость сработки запасов, с$^{-1}$. В начале кривой спада t равно нулю, Q будет равно Q_0.

Разница между теоретической кривой и реальным гидрографом за зимний период будет равняться потерям речного стока на наледообразование. Среднемноголетнее значение потерь на наледообразование составило по р. Ока-п. Сарам – 8,74 м^3/с, р. Орлик-п. Орлик – 0,032 м^3/с, р. Тисса-п. Балакта – 0,96 м^3/с. Для бассейнов рек с отсутствием наблюдений за стоком потери на наледообразование определялись по эмпирической формуле Кравченко В.В. в зависимости от площади и высоты водосбора:

$$h_{П/F_П} = h_{П/F=5000}\, 0{,}6 \left(\frac{F_П}{F_1}\right)^{0{,}06}$$, где

$h_{П/F_П}$ - слой наледного стока (мм) при фактической площади водосбора; $h_{П/F_П=5000}$ - величина потерь стока (мм), приведенная к площади водосбора 5000 км^2; $h_П$ - фактическая площадь водосбора, км^2; F_1 - единичная площадь, км^2.

Отличие в расчетах потерь речного стока на наледообразование, определенное по реконструкции гидрографа и по эмпирической формуле в пределах от 11 % до 27 %. Данные эпизодических измерений речного стока приводились к многолетним при помощи переходных коэффициентов по формуле:

$$\bar{Q}_x = Q_{ox} \frac{\bar{Q}_{oa}}{Q_{oa}}$$, где

$\bar{Q}_x$ – среднемесячный расход разового гидрометрического поста, м^3/с; Q_{ox} – разовый расход (получен в процессе гидрометрической съемки), м^3/с; $\bar{Q}_{oa}$ – среднемесячный расход реки аналога, м^3/с; Q_{oa} – разовый расход реки аналога, м^3/с.

Правомерность использования для расчетов многолетних значений подземного стока данных единичных измерений расходов воды и точность получаемых результатов обеспечивается производством работ в периоды, когда речной сток сформирован практически целиком за счет подземных вод, то есть является генетически однородным. Также для повышения точности расход воды измерялся детальным, а не основным способом.

Результаты и выводы

В пределах Окинской впадины модуль подземного стока изменяется в широких пределах от 0,5 л/с*км^2 до 9,2 л/с*км^2 и зависит от ландшафтно-климатических условий, в первую очередь от величины атмосферных осадков, а также гидрогеологических условий конкретных водосборов, связанных с наличием многолетнемерзлых пород, различиями в тектонической активности на разных участках исследуемой территории (Табл. 1).

Подземный сток выражен в виде модуля стока и в связи с дискретностью распределения отображен на карте по площадному принципу (Рис. 1).

Табл. 1 Модуль подземного стока в реки Окинской впадины

Река - Пост	Дата замера	Измеренный меженный расход Q, м^3/с	$Q_{ср.мнг.}$ наледный по эмпирической формуле , м^3/с	$Q_{ср.мнг.}$ наледный по гидрографам, м^3/с	$Q_{ср.мнг.}$ подземный сток с учетом потерь, м^3/с	Средняя высота водосбора H, м	Площадь водосбора F, км^2	M, л/с*км^2
р. Ока выше устья р. Хоре	17.12.2015	0,31	0,17	-	0,50	2128	471	1,1
р. Хоре - устье	17.12.2015	0,057	0,25	-	0,31	2222	659	0,5
р. Боксон - устье	18.12.2015	0,15	0,23	-	0,39	2024	655	0,6
р. Ока выше устья р. Сорок	19.12.2015	0,53	1,00	-	1,57	2068	2583	0,6
р. Сорок - устье	19.12.2015	0,19	0,45	-	0,65	1995	1256	0,5
р. Ока выше устья р. Диби	19.12.2015	0,72	1,68	-	2,46	2020	4313	0,6
р. Диби - устье	19.12.2015	1,66	0,59	-	2,37	2130	1534	1,5
р. Орлик - с. Орлик	-	-	0,041	0,032	0,21	1784	142	1,4
р. Тисса - п. Балакта	-	-	1,09	0,96	7,51	2170	2708	2,8
р. Ока выше устья р. Сенцы	21.12.2015	7,06	3,89	-	11,6	2012	9543	1,2
р. Сенца - устье	22.12.2015	1,33	0,38	-	1,84	2062	1047	1,8
р. Жомболок - устье	23.12.2015	7,3	0,33	-	8,36	2053	904	9,2
р. Ока - п. Тала	24.12.2015	28,1	5,05	-	36,1	2019	12170	3,0
р. Ока - п. Сарам	-	-	7,73	8,74	54,3	1970	18533	2,9

Модуль подземного стока для большей части исследуемой территории меняется от 0,5 л/с*км^2 до 1,5 л/с*км^2, что характерно для бассейнов рек с наличием многолетнемерзлых пород и суровыми климатическими условиями. Повышенный подземный сток р. Сенца (М=1,8 л/с*км^2) обусловлен наличием таликовых зон, связанных с существованием термальных источников и тектонической раздробленностью территории. Подземный сток р. Тисса (М=2,8 л/с*км^2) зарегулирован озерами и имеет не характерный для горных рек низкий коэффициент вариации – 0,14. Самый высокий модуль подземного стока отмечен в бассейне реки Жомболок (М=9,2 л/с*км^2). Долина реки заложена по молодому тектоническому разлому и заполнена голоценовым базальтовым потоком, перекрывающим морены последнего оледенения и галечники р. Оки. Большое количество атмосферных осадков, хорошие емкостные и фильтрационные свойства пород-коллекторов, обусловленные тектонической трещиноватостью, обеспечивают стабильно высокий подземный сток в бассейне р. Жомболок.

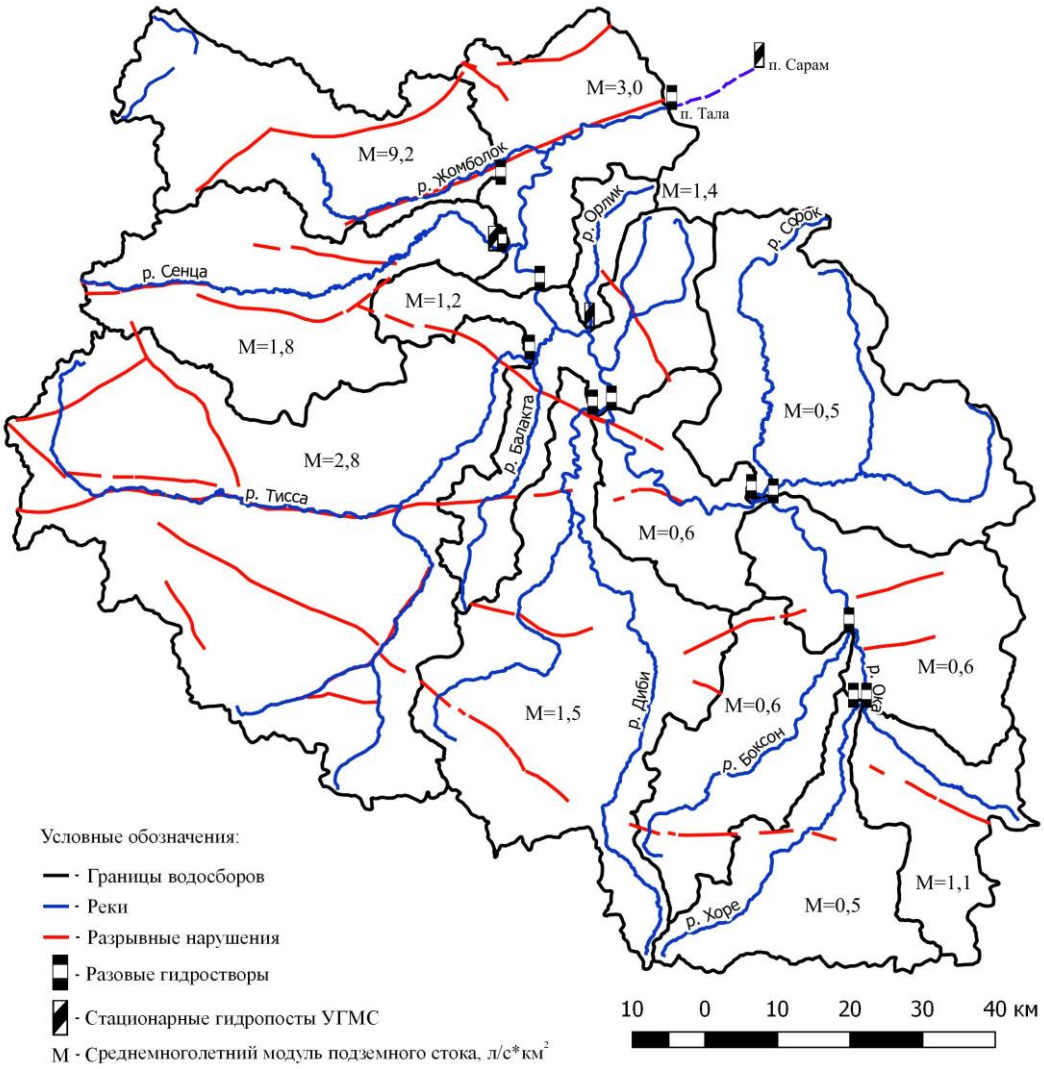


Рис. 1 Карта распределения модулей подземного стока в реки Окинской впадины

Список литературы

Выркин В. Б., Опекунова М. Ю. Строение рельефа речных долин Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // *География и природные ресурсы,* № 2, 2015: 106-113

Боревский Б.В., Марков М.Л. Является ли меженный расход рек мерой питания подземных вод или общего подземного стока? // *Разведка и охрана недр,* № 5, 2014: 10-16

Ратнер Н.С. К расчету подземного притока в реки по данным единичных расходов воды // *Труды ГГИ,* Вып. 240., 1977: 55-71

Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: Изд-во МГУ, 1960: 344

Шенькман Б.М. Естественные ресурсы подземных вод юга Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во «Наука», 1976: 128

Писарский Б.И. Закономерности формирования подземного стока бассейна озера Байкал. Новосибирск: Изд-во «Наука», 1987: 160

Кравченко В.В., Гизетдинов А.М. Расчет зимнего стока рек криолитозоны на основе восстановления его гидрографа // *Тр. ГГИ,* Вып. 355., 1991: 41-60

Попов О.В. Подземное питание рек. Л.: «Гидрометеоиздат», 1968: 292

Соколов Б.Л., Саркисян В.О. Подземное питание горных рек. Л.: «Гидрометеоиздат», 1981: 240

Groundwater flow of the Okinskaya depression (Eastern Sayan)

Badminov P.S.[1], Orgilyanov A.I.[1], Dmitriev-Dobrovolsky V.E.[2]
[1]Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk
[2]Irkutsk State University, Irkutsk
vladis.box@yandex.ru

Abstract: Quantitative determination of the groundwater flowof the Okinskayadepression (EasternSayan) is an important task in connection with the need to provide the population, agriculture and industry with water of the required quality. The Okinskaya depression is surrounded on all sides by mountain ranges (BolshoiSayan, Okinskiy, Kropotkina, Tunkinsky loaches) and is a mountain country isolated from the outside world, something like "Tibet in miniature". The definition of groundwater runoff for rivers with a long series of observations of river runoff was carried out by a complex hydro-hydrogeological method of genetic decomposition of river hydrographs, taking into account the removal of part of the runoff into ice formation. For uninvestigated rivers, the ground runoff was determined by the single water discharge obtained during the hydrometric survey of the winter meadow. Within the Oka depression, the modulus of the underground runoff varies over a wide range from 0,5 l/s*km^2 to 9,2 l/s *km^2 and depends on the climatic conditions, primarily on the magnitude of atmospheric precipitation, as well as hydrogeological conditions specific watersheds associated with the presence of permafrost, differences in tectonic activity in different parts of the study area.

Keywords: Groundwater flow, river hydrograph, water flow, ice formation, drainage zone.

Оценка влияния заболоченности на характеристики речного стока

Журавлева А.Д.*, *Батуев В.И.
ФГБУ «Государственный Гидрологический Институт», Санкт-Петербург, Россия
a.d.zhuravleva@gmail.com

Аннотация: Степень влияния болот на речной сток в различные фазы водности зависит от множества факторов: заболоченности водосбора, характеристик деятельного слоя болот, условий залегания грунтовых вод и др. Применение математических моделей позволяет воспроизвести основные особенности процессов формирования стока с болот и получить более надежную оценку степени влияния болот на речной сток. В работе представлены результаты моделирования стока с малых речных бассейнов Северо-Западного региона России с различной степенью заболоченности. Расчеты производились с помощью модели HBV (Bergström, 1992, 1995). Моделирование стока проводилось для малых болотных водосборов (ручьи болотного массива Ламмин-Суо) и залесенных водосборов (реки Яндеба, Большая Велмукса, Черная). Используя метод физико-географического подобия, модельные параметры, полученные в процессе расчетов стока с полностью заболоченных или залесенных водосборов, были перенесены на водосборы с различной степенью заболоченности (от 15% до 40%), находящиеся в одинаковых ландшафтно-гидрологических условиях (реки Лекса, Дымка, Шомушка, Ящера). Результаты моделирования стока оценивались с помощью коэффициента эффективности Нэша-Сатклиффа, который в среднем составил от 0,65 до 0,78. По результатам модельных расчетов была произведена оценка вклада стока с заболоченной части водосбора в различные периоды водности. Показано, что максимальные расходы воды под влиянием заболоченности снижаются незначительно. Доля болотного питания в период зимней межени для водосборов с заболоченностью 15-40% не превышает 1-2%.

Ключевые слова: Сток с болот, математическое моделирование, оценка стока с заболоченных территорий, верховые болота, северо-запад Европейской части России

Введение

Болота являются специфическим стокоформирующим комплексом и оказывают существенное влияние на гидрологический режим речного бассейна. В ряде работ устанавливается снижение максимальных расходов воды с увеличением заболоченности в связи с отсутствием поверхностного стока в период снеготаяния. В меженный период отмечается резкое снижение или полное отсутствие стока с заболоченных территорий, вследствие промерзания деятельного слоя торфа (в зимний период) или снижения уровня грунтовых вод ниже деятельного горизонта (в летне-осенний период) (Иванов, 1953, 1975).

В последнее время приобрело актуальность применение математических гидрологических моделей для бассейнов с высокой долей специфических поверхностей, в том числе и болот. Гидрологические модели позволяют получить качественную и количественную оценку степени влияния заболоченных территорий на сток воды в различные периоды водности.

Материалы и методы

Для оценки влияния заболоченности на характеристики речного стока была выбрана модель HBV. Модель HBV была разработана 1972 году в Шведском Метеорологическом и Гидрологическом Институте (SMHI), в течение последних десятилетий модель получила дальнейшее развитие и широко использовалась для моделирования стока воды в Швеции и других странах (Bergström, 1995). В настоящей работе использовалась версия

программы HBV-ligh 4.0.0.16. Модель HBV включена в Гидрологическую оперативную многоцелевую система Всемирной Метеорологической Организации (ГОМС ВМО J04.2.02) (Seibert, 1997, 2005). Модель воспроизводит сток воды, используя в качестве входных данных слой осадков, температуру воздуха и испарение. Бассейн реки представляется в модели набором различных по высоте и типу растительности зон (высотно-вегетационная зона EVU). Каждая высотно-вегетационная зона определяется набором индивидуальных значений параметров растительности и высоты. Модель включает в себя блоки расчета снегонакопления и снеготаяния, изменения влажности почвы, блок расчета грунтового стока и трансформации стока.

Моделирование стока проводилось для малых болотных водосборов (ручьи болотного массива Ламмин-Суо) и залесенных водосборов (реки Яндеба, Большая Велмукса, Черная). Используя метод физико-географического подобия, модельные параметры, полученные в процессе расчетов стока с полностью заболоченных или залесенных водосборов, были перенесены на водосборы с различной степенью заболоченности (от 15% до 40%), находящиеся в одинаковых ландшафтно-гидрологических условиях (реки Лекса, Дымка, Шомушка, Ящера).

В качестве полностью заболоченных бассейнов были выбраны водосборы ручьев Южный, Северный и Западный болотного массива Ламмин-Суо, на котором с 1950 года ведутся наблюдения за гидрометеорологическим режимом в рамках работы Зеленогорской болотной станции, входящей в состав Главной экспериментальной базы Государственного гидрологического института. Болотный массив Ламмин-Суо расположен на водоразделе бассейнов рек Черная и Сестра на Карельском перешейке в северо-западной части Русской равнины. Болотный массив состоит из водосборов пяти ручьев и одного временного водотока.

Моделирование формирования стока по водосборам ручьев Южный, Северный и Западный производилось за период с 1985 г. по 2005 г. В качестве входной информации использовались данные об ежедневных температуре воздуха, слоях осадков, а также месячных значениях испарения, полученных на метеостанции, расположенной в центральной части болотного массива Ламмин-Суо. Контрольная гидрологическая информация представляет собой суточные значения слоев стока. Период с 1985 г. по 1995 г. был выбран для калибровки модели, расчет стока за 1996-2005гг. производился с помощью откалиброванных модельных параметров за предыдущий период. Калибровка параметров модели HBV выполнялась с помощью встроенных в модель алгоритмов калибровки, а также в ручном режиме. При моделировании стока с болотного массива Ламмин-Суо параметры снегонакопления и снеготаяния в модели HBV принимались одинаковыми для всех рассматриваемых водосборов, вследствие одинаковых метеорологических условий. Основная особенность параметризации бассейна для расчетов стока с верховых болот, заключалась в задании нулевых коэффициентов фильтрации на границе деятельного и инертных горизонтов, что отражает процесс формирования стока на заболоченных территориях. Остальные значения параметров были определены в процессе калибровки для каждого водосбора отдельно. В среднем коэффициент эффективности для выполненных расчетов составил 0,69.

Для проведения моделирования стока с лесных водосборов были выбраны несколько бассейнов рек с максимальным процентом залесенности, расположенных в Северо-Западном федеральном округе и имеющим схожие параметры растительного покрова (еловый зеленомошные леса среднетаежной зоны). Моделирование формирования стока по водосборам рек Черная, Большая Велмукса и Яндеба производилось за период с 2008 г. по 2015 г. В качестве входной информации использовались данные об ежедневных температуре воздуха и слоях осадков полученных на ближайших метеостанциях. Период с 2008г. по 2010 г. был выбран для калибровки модели, расчет стока за 2011-2015гг. производился с помощью откалиброванных модельных параметров за предыдущий

период. Анализ результатов моделирования стока воды с водосборов с высокой степенью лесистости показал хорошее совпадение гидрографов стока (рассчитанного и наблюденного) в различные периоды водности. В среднем коэффициент эффективности для выполненных расчетов составил 0,74.

Для оценки влияния болот на сток в различные фазы водности были выбраны несколько водосборов с различной степенью заболоченности (от 15% до 40%), расположенных в среднетаежной лесной зоне Европейской части России. Моделирование формирования стока по водосборам рек Лекса, Шомушка, Дымка и Ящера производилось за период с 2008 г. по 2013 г. Моделирование стока проводилось для каждого из перечисленных бассейнов отдельно для лесной части и для заболоченной, полученные результаты суммировались и сравнивались с контрольной гидрологической информацией. Калибровка параметров не производилась, параметры назначались априорно по тем значениям, которые были получены в результате моделирования полностью заболоченных водосборов (ручьи болотного массива Ламмин-Суо) и полностью залесенных водосборов (бассейны рек Большая Велмукса, Черная, Яндеба).

Анализ результатов моделирования стока воды с водосборов с высокой степенью заболоченности показал хорошее совпадение гидрографов стока (рассчитанного и наблюденного) в различные периоды водности. В среднем коэффициент эффективности для выполненных расчетов за 2009-2013гг. составил для бассейна р. Лекса – 0,67, для бассейна р. Шомушка – 0,67, для бассейна р. Дымка – 0,78, для бассейна р. Ящера – 0,75. Данные по эффективности полученных результатов за отдельные годы приведены в таблице 1. На рисунке 1 приведены наблюденные и рассчитанные гидрографы стока для р. Лексы за 2010 год.

Табл. 1 Коэффициенты эффективности моделирования стока по бассейнам рек Лекса, Шомушка, Дымка, Ящера за 2009-2013 гг.

Бассейн реки	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
р. Лекса	0,65	0,62	0,79	0,63	0,63
р. Шомушка	0,7	0,59	0,7	0,63	0,71
р. Дымка	0,68	0,83	0,77	0,81	0,81
р. Ящера	0,65	0,62	0,74	0,83	0,89

Для оценки влияния заболоченности водосбора на сток в период максимальных расходов воды, были рассчитаны объемы стока за время прохождения половодья с лесной и заболоченной частей водосбора. Для бассейна р. Лекса вклад стока с заболоченной части водосбора в суммарный объем стока за половодье составил 26-31%, для бассейна р. Шомушка – 12-19%, для бассейна р. Дымка – 9-11%, для бассейна р. Ящера – 13-18%, что говорит об уменьшении максимальных расходов воды под влиянием заболоченности.

Для оценки влияния заболоченности на минимальный сток были выделены даты наступления минимальных расходов воды за летне-осеннюю и зимнюю межень и произведен расчет вклада стока с заболоченной части водосбора в суммарный расход воды. При 40-процентной заболоченности водосбора (р. Лекса) вклад стока с заболоченной части водосбора в суммарный расход воды составил для периода летне-осенней межени 4-22%, для зимней межени – 1-2%, при 15-процентной заболоченности (р. Дымка) – доля болотного стока для периода летне-осенней межени составила 3-5%, для зимней межени – 1-2%.

Результаты и выводы

Результаты моделирования стока воды на бассейнах с различной степенью заболоченности с помощью модели HBV показали применимость данной математической

модели для гидрологических расчетов стока в среднетаежной зоне Северо-Запада Русской равнины. Адаптация модели HBV для расчетов стока с верховых болот заключалась в задании нулевых коэффициентов фильтрации на границе деятельного и инертных горизонтов, что отражает процесс формирования стока на заболоченных территориях. На основании полученных результатов произведена оценка вклада стока с заболоченной части водосбора в зависимости от периода водности.

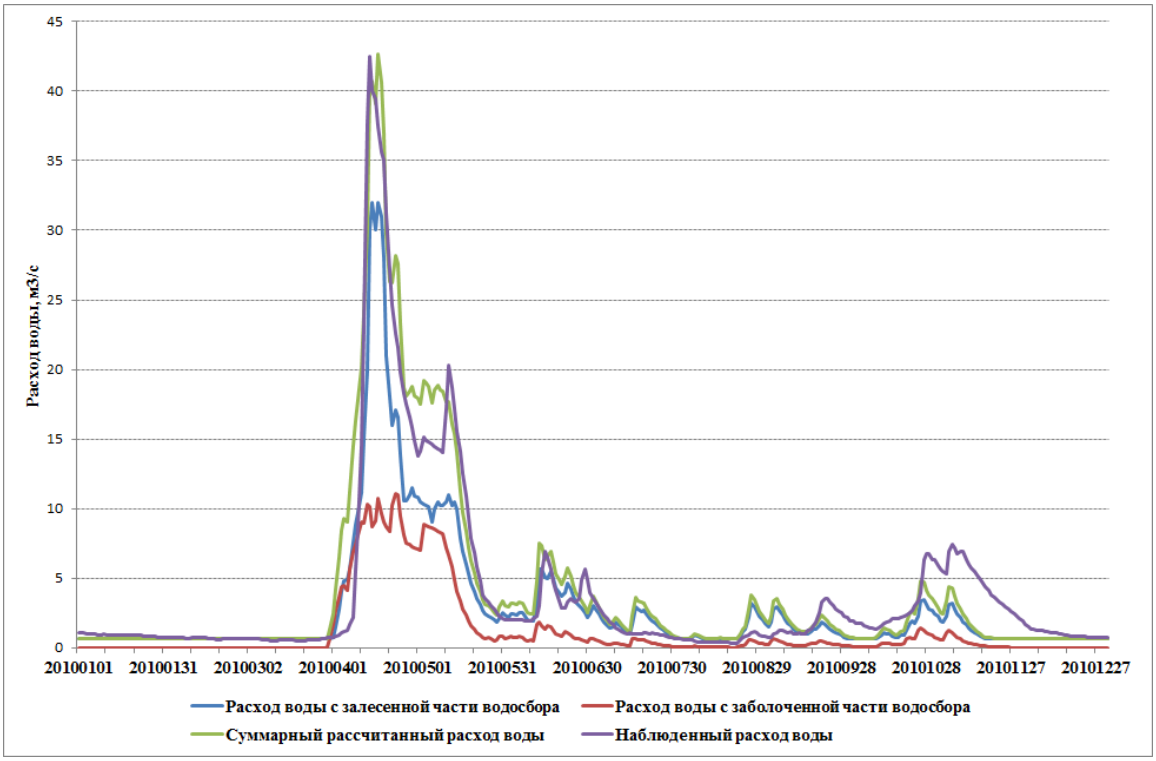


Рис. 1 Наблюденные и рассчитанные гидрографы стока для р.Лексы, 2010 г.

В период максимального стока расходы воды незначительно снижаются под влиянием заболоченности, для водосборов с процентом заболоченности 15, 20, 40% доля стока с заболоченной части бассейна по отношению к суммарному стоку составляет 10, 15 и 29% соответственно. В период минимальной водности наблюдается резкое снижение расходов воды в зимние месяцы (1-2% от суммарного стока) и значительное снижение расходов воды в летне-осенний период (для водосборов с процентом заболоченности 15, 20, 40% доля стока с заболоченной части бассейна по отношению к суммарному стоку в среднем составляет 4, 8 и 12% соответственно). Таким образом, для заболоченных водосборов выявлено снижение максимальных расходов воды весеннего половодья, минимальных расходов воды в зимний период и за период открытого русла.

Список литературы

Иванов К.Е. Гидрология болот. Гидрометеоиздат, Л., 1953;

Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 280 с.

Bergström, S., The HBV model, computer models of watershed hydrology (editor: V.p. singh). *Water Resources Publications* (1995)

Seibert, J., Estimation of parameter uncertainty in the HBV model, /*Nordic Hydrology* 28(4/5) - 1997, p. 247-262

Seibert, J., 2005. HBV-light, User´s Manual Version 2. Stockholm.

Assessment of the wetlands impact on the river flow characteristics

***Zhuravleva A. D.*, Batyev V.I.**
Russian Federal State Budgetary Organization «State Hydrological Institute» (SHI), St. Petersburg
a.d.zhuravleva@gmail.com

Abstract: Wetland effect on runoff regime during different seasons depends on a number of factors including portion of swampy territories, characteristics of the active layer of peatbogs, groundwater table conditions etc. The using of models allows to reproduce the main features of the runoff formation processes from bogs and to obtain more reliable estimates of the wetland effect on flow regimes. The paper presents the results of flow simulation from small river basins in the North-West region of Russia with varying percentage of the watershed covered by wetlands. We used HBV model for runoff simulation (Bergström, 1992, 1995). Flow modeling was carried out for small wetland catchments (streams of the Lammin-Suo wetland, Russian North-West) and forested watersheds (the Yandeba River, Bolshaya Velmuksa, Chernaya River). We used the approach of landscape similarity transferring runoff model obtained for fully waterlogged or forested catchments to the ones with varying percentage of wetlands (15%-40%) and situated in the similar landscape and hydrological conditions (the rivers Lexa, Dymka, Shomushka, Yashera). The Nash-Sutcliffe efficiency coefficient was 0.65-0.78. Based on the results of modelling, the portion of runoff from the swampy part of the catchment was estimated for different flow seasons. It is shown that the high flow under the wetland effect is reduced insignificantly. The portion of wetland waters in the low winter flow from catchments with medium (15-40%) wetland coverage does not exceed 1-2%.

Keywords: Streamflow from the peatlands, mathematical modeling, flow estimation from wetlands, upland peatbogs, northwest of the European part of Russia

Геоморфология и морфодинамика устьевых систем Камчатки

Захарова Э.Д.
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
ellina1997zahar@gmail.com

Аннотация: Устьевые системы представляют собой наиболее уязвимые в экологическом отношении и при этом слабо изученные природные объекты береговой зоны Камчатского полуострова. На основании опубликованных литературных источников, топографических карт и космических снимков была составлена морфогенетическая классификация и геоморфологические карты устьевых систем Камчатки, а также рассмотрена современная морфодинамика основных типов речных дельт.

Ключевые слова: устьевая система, дельта, дельтообразование, геоморфология, морфодинамика

Введение

Благодаря выгодному экономико-географическому положению и богатым рыбным ресурсам, водотоки Камчатки давно привлекали внимание исследователей. Однако, геоморфологическое строение и гидрологический режим рек полуострова Камчатка изучены недостаточно. Расположение полуострова Камчатка в зоне современного вулканизма и в области развития муссонного климата умеренного пояса создают специфические геологические и ландшафтные условия формирования устьев рек Камчатки.

Морфогенетические типы устьевых геоморфологических систем побережья Камчатки

На дальневосточном побережье России распространены практически все основные морфогенетические типы устьевых систем: эстуарные, эстуарно-дельтовые, лиманно-дельтовые и лагунно-дельтовые, являющиеся следствием как колебаний уровня Мирового океана на позднеголоценовом отрезке послеледниковой трансгрессии (уровень неоднократно превышал современный на 1–3 м), унаследованного заложения большинства речных долин по депрессионным структурным зонам в течение всего плейстоцена, также активного влияния приливо-отливных течений (Коротаев, 2012; Эстуарно-дельтовые системы, 2007).

Наиболее распространенным морфогенетическим типом устьевых систем на Камчатке являются различные модификации устьевых систем выполнения ингрессионных заливов (bay-head deltas), зависящих от сочетания природных факторов дельтообразования (речной сток, волновая активность, высота приливов).

В начальной стадии развития устьевые системы Камчатки представляют собой однорукавные дельты заполнения фиордов (фьорды Шипунского и Авачинского полуостровов, Восточного побережья Камчатки) и эстуариев (реки Гижига, Маламваям, Харюзова и побережья Западной Камчатки. Устья фьордового типа формируются в районах распространения денудационно-тектонических горстовых и горст-антиклинальных поднятий с большим количеством локальных и региональных разломов-грабенов, заполнявшихся морской водой в период трансгрессии 5–4 т. л. н. Фьорды северо-восточного побережья Шипунского полуострова впоследствии были блокированы морскими косами, отделивших от морской акватории лиманы. Заливы, расположенные между мысом Шипунского и Ловушек, продолжают и на современном этапе сохранять свой первозданный вид и свободно сообщаются с Тихим океаном Очевидно, это связано с незначительной мощностью или вообще отсутствием вдольбереговых потоков наносов. К югу от Авачинской бухты также развиты фьордовые заливы, обнаруживающие ярко

выраженные следы ледниковой обработки, однако далеко не все они имеют блокирующие пересыпи. Основным источником материала для формирования пересыпей в заливах Камчатки служат абразионные берега (Мамаева, 1959). Твердый сток малых рек и ручьев юго-восточного побережья Камчатки крайне ничтожен. Берега восточнее бухты Авачинской слабо поддаются абразии, т.к. сложены весьма устойчивыми к размыву изверженными породами. Поэтому здесь не формируются вдольбереговые потоки наносов, способных сформировать аккумулятивные формы на входе в ингрессионные заливы. Формирование пересыпей осложняется значительной приглубостью подводного склона и большими глубинами в самих фиордах (20–30 м во фьордах Вилючинская и Русская).

Эстуарные однорукавные типы устьев распространены на северо-западном побережье Камчатского полуострова, где высота приливов больше двух метров. В устьях рек с высотой прилива от 2 до 5 метров (Пенжина, Гижига) сформированы устьевые системы в виде пионерных дельт выполнения долинных заливов с ярко выраженной приливной циркуляцией водных масс. Современные дельтоформирующие процессы сводятся к образованию серии полунадводных отмелей-осередков (река Хайрюзова) и образованию узких приливных гряд в центральных частях эстуариев, а также устьевых баров на открытом устьевом взморье. Скорость выполнения эстуариев речными наносами зависит от величины стока наносов, амплитуды приливно-отливных денивиляций уровня и морфологии устьевого взморья. Седиментация взмученных осадков происходит на границе морских и речных вод, где транспортирующая способность потока падает по мере уменьшения скоростей стоковых течений. Эволюция эстуарных типов устьев обычно идет по пути превращения их в устьевую систему сначала частичного, а затем полного выполнения ингрессионного залива.

Особую разновидность устьевых систем выполнения образуют реки, отложения которых заполняют устьевые лагуны, возникающие в результате отчленения морскими барами обширных и относительно мелководных акваторий в процессе выравнивания расчлененного морского побережья. Дельты выполнения устьевых лагун формируются при ярко выраженных вдольбереговых течениях, за счет которых образуется морская коса (пересыпь) отделяющая лагуну от моря (устье реки Камчатки, Караги, Тымлата, Большой и др.). Распространены они, как правило, на Тихоокеанском побережье и равнинных аккумулятивных участках юго-западной Камчатки. В основном, развитие данного типа устья идет по пути заполнения устьевой лагуны речными наносами. Дельтоформирующие процессы сводятся к наращиванию морской пересыпи поперек главного дельтового рукава, его блокировке, а затем прорыву косы у основания и причленения её к аллювиально-дельтовой равнине, которая постепенно заполняет устьевую лагуну. Среди устьевых систем выполнения береговых лагун можно выделить следующие морфодинамические модификации: 1) дельты частичного заполнения, отчлененные сплошной или прерывистой полосой морских баров (рр. Камчатка, Канеюдь, Лахтина, Кытапваам, Туманская, Ваймычгын, Пекульваам, Кавтас, Култучная, Авьеваам, Вывенка, Карги, Улочка, Большая, Оссора и др.); 2) малорукавные дельты полного заполнения (рр. Тымдай, Ильпи, Укэлаят, Хатырка, Ватына, Налычева, Лесная, Жупанова, Мутная и др.) При неполном заполнении чаще всего дельты образуют многорукавную гидрографическую сеть и выдвигаются в лагуну или лиман в виде отдельных лопастей. При полном заполнении речной дельтой отчлененной пересыпью акватории происходит превращение речной дельты в дельтовую равнину, где, как правило, сток осуществляется по одному главному рукаву, по которому река находит выход на открытое взморье и начинает здесь формировать сначала устьевой бар, а затем, если достаточно наносов, современную субдельту. В пределах дельтовой равнины (или устьевого конуса выноса)

процессы дельтообразования заменяются русловыми переформированиями главного водотока.

Особое место в общей массе устьевых систем занимают дельты выдвижения, представленные на территории Камчатки лишь дельтой Авачи, которая при подходе к Тихому океану пересекает горные сооружения, и её суженный участок (долина прорыва) переходит непосредственно в приустьевое расширение русла на открытом побережье. Обычно дельты выдвижения связаны с формированием аллювиального устьевого конуса выноса на открытом морском побережье или в широкой бухте и весьма нехарактерны для побережья Камчатки. Эволюция данного типа дельт осуществляется путем наращивания субаэральной её части и превращения начального аллювиального выступа в многорукавную дельту с активной авандельтой и глубоководным конусом выноса. В идеальных условиях происходит равномерное нарастание дельтовой равнины, морской край которой выравнивается береговыми процессами. При приближении края субаэральной дельты к зоне морского барообразования может происходить блокировка отдельных маловодных рукавов морскими наносами и, как следствие, устьевое удлинение наиболее полноводных рукавов. В этом случае формируется асимметричная (лопастная) дельта.

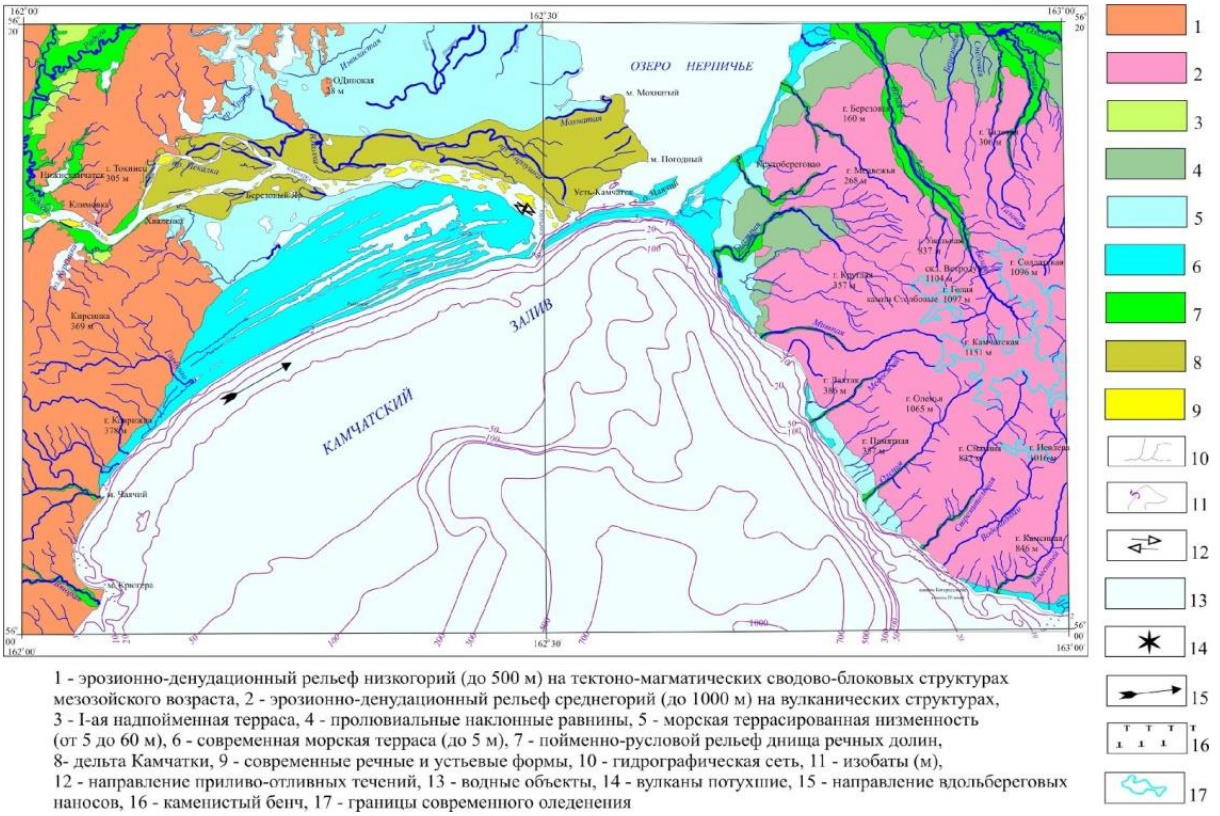


Рис.1 Геоморфологическая схема устьевой системы Камчатки

На фоне сезонного колебания уровня приемного водоема в дельтах выдвижения может происходить перераспределение стока по рукавам, отмирание действующих и размыв неактивных водотоков. Русловые переформирования происходят также во время прохождения половодья, из-за перераспределения стока воды в узлах разветвления смещается динамическая ось потока. Прохождение руслоформирующих расходов (в связи с региональными особенностями Камчатки таковыми являются расходы в период половодья) часто влечёт за собой изменения на смежных и вышележащих участках, например: смещение побочней вниз по течению, спрямление или образованием излучин в

русле или перераспределение стока в узле первого разветвления русла Авачи (перед островом без названия). Деформации в верховьях и среднем течении Авачи непосредственно влияют на гидролого-морфологические характеристики рукавов дельты, в том числе на сток наносов, а, следовательно, и на направленность роста дельтовой равнины. Анализируя топографические карты разных годов издания (ГШ РККА 1945,) и современные космические снимки можно сказать, что рукава дельтового участка Авачи достаточно стабильны: за 45 лет заметных изменений основных рукавов не произошло, лишь повсеместно распространены «слепые» русла мелких рукавов. На карте 1934 г. ГШ РККА самый левый рукав Авачи всё еще достаточно активен, но с течением времени участок левобережной поймы отторгается и весь сток левого рукава перебрасывается в основное русло, чья субдельта начинает активно выдвигаться. Данное событие, пожалуй, является наиболее значимым русловым переформированием в нижнем течении реки за период около 75–80 лет.

Заключение

Таким образом, в ходе исследований были: 1) Классифицированы устьевые системы Камчатки. На основании анализа топографических топографических карт и космических снимков были выделены пять морфогенетических типов устьевых систем: фиорды (например, бухты Шипунского полуострова и Авачинского залива), эстуарии (рр. Гижига, Хайрюзова, Белоголовая, Маламваям, Тигиль), эстуарно-дельтовые системы (р. Пенжина), лагунно-дельтовые системы частичного выполнения (рр. Камчатка, Лахтина, Кыталваам, Туманная, Ваймычгын, Пекульваам, Кавтас, Култушная, Авьеваам, Караги, Оссара, Большая), лагунно-дельтовые системы полного выполнения с блокированным устьем (рр. Тымлат, Ильпи, Укэлаят, Хатырка, Налычева, Лесная, Ватына, Жупанова, Асача, Мутная) и дельтовые системы выдвижения (р. Авача). Наиболее распространенным типом устьевой геоморфологической системы на побережьях Камчатки являются устьевые системы выполнения долинных заливов и устьевых лагун; 2) Были составлены геоморфологические карты основных типов устьевых систем и сопредельных с ними территорий.

Список литературы

Мамаева Р.Б.1959 Некоторые особенности развития рек полуострова Камчатки // Тр. ГОИН. Вып.45. С. 109-116

Коротаев В.Н., Бабич Д.Б., Михайлов В.Н. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы. Геоморфология и прогноз развития. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.

Коротаев В.Н. Седиментационные устьевые системы // Геоморфология. — 2012. — №4. — С.12–22

Geomorphology and morphodynamics of Kamchatka estuarine systems

Zakharova E.D.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ellina1997zahar@gmail.com

Abstract: Estuarine systems are the most environmentally vulnerable and at the same time poorly researched natural objects on the Kamchatka's Peninsula coast. The morphogenetic classification of deltas of the peninsula, geomorphological maps of deltas, and morphodynamics of the main types of estuarine systems are considers the literature materials, topographic data and sattelite imagery.

Keyworlds: estuarine system, delta, delta formation, geomorphology, morphodynamics.

Анализ распределения стока в дельте р. Селенги

Ильичёва Е.А.
ФГБУН Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
lenail3663@mail.ru

Аннотация: Распределение водного стока по русловой сети дельты р. Селенги характеризует гидрологические процессы, отвечающие за баланс стока наносов и растворенных веществ, обводнение или осушку различных частей дельты, динамику озерного края и устьевых баров и, наконец, определяет возможности хозяйственного использования этих территорий. Знания распределения водного стока в дельте в многолетнем, сезонном и кратковременном масштабах позволяют решать как вопросы фундаментальной науки, так и существующие практические и прогнозные задачи природопользования этих районов. Конец XX в. по настоящее время характеризуется значительным снижением водности в Селенгинском бассейне. Средний объем стока Селенги в Байкал снизился до 20 км^3. Общее маловодье иногда прерывается подъемами водности, что отмечалось в летне-осенние паводки 2012 и 2013 годов.

Для исследования определения общих тенденций распределения стока в дельте р. Селенги используются результаты полевых гидрометрических работ и расчеты морфометрических параметров русловой сети, а также картографические методы сравнения и визуализации получаемых данных. Анализ распределения стока по секторам дельты в зависимости от водности в вершине дельты показал, что распределение в равных долях по краевым секторам дельты наблюдается при расходах в вершине дельты 1100, 1700 и 2000-3000 м^3/с, соответственно по 40, 20, 35%. В маловодный год (600-800 м^3/с) основной сток проходит через протоки Лобановского сектора. При повышении расхода воды в вершине дельты до 2000 м^3/с происходит рост доли стока в протоках Селенгинского сектора за счет снижения стока через Лобановский и Среднеустьевский сектор. Во время высокой водности доля стока по русловой сети центрального сектора снижается, и главную роль в распределении стока играют протоки Селенгинского сектора, в первую очередь увеличивается доля стока Левобережной. Сток через Среднеустьевский сектор при различных условиях водности относительно стабилен.

Ключевые слова: дельта, русловая сеть, сток воды, распределение стока

Введение

Основной причиной образования дельты в устье реки является взаимодействие речных вод, насыщенных наносами, уровня воды и режима принимающего водоема. Дельта Селенги эксклюзивна в своем роде, поскольку ее принимающий водоем – озеро Байкал является одновременно и Иркутским водохранилищем, обеспечивающим работу ГЭС. В настоящий момент возникает еще одна наиважнейшая потребность в изучении дельты Селенги, поскольку рассматриваются проекты строительства ГЭС и переброски стока в речной системе монгольской части бассейна реки.

Распределение стока по русловой сети дельт характеризует гидрологические процессы, отвечающие за баланс стока наносов и растворенных веществ, обводнение или осушку различных частей дельты, динамику морского края и устьевых баров и, наконец, определяет возможности хозяйственного использования этих территорий. Знания распределения водного стока в дельтах в многолетнем, сезонном и кратковременном масштабах позволяют решать как вопросы фундаментальной науки, так и существующие практические и прогнозные задачи природопользования этих районов.

В русловой сети дельты реки Селенги нет постоянной мониторинговой сети Росгидромета, фактически, наблюдения за стоком производятся в низовьях реки на двух постах (разъезд Мостовой и с. Кабанск). Оценить распределение стока в водотоках дельты

за длительный промежуток времени в полной мере достаточно сложная задача, что обусловлено эпизодичностью данных, полученных различными исследователями в дельте Селенги. К настоящему времени Институт географии им. В.Б. Сочавы обладает материалами гидрометрических съемок с 2003 г. в мониторинговой сети.

Уровенный режим озера Байкал как принимающего водоема и формирующего базис эрозии, является одним из ведущих факторов современного формирования дельты р. Селенги. В период 2014 -2015 гг. общий объем притока в озеро уменьшился по сравнению с предыдущим периодом. Основные причины формирования чрезвычайно низких уровней связаны с экстремально низкими условиями водности из-за существенного дефицита осадков. За предшествующие годы такая ситуация наблюдалась 7 раз - в 1977, 1979, 1980, 1981, 1989, 2002 и 2011 годах. С 2001 года амплитуда колебания уровня озера Байкал выдерживается в пределах отметок 456,0 - 457,0 м (ТС). Водный сток р. Селенги в нижнем течении характеризуется крайне неравномерным внутригодовым распределением. Расходы реки в летнее время достигают 5-7 тыс. $м^3/с$, снижаясь в январе-марте до 70-80 $м^3/с$**.** В качестве замыкающего створа, по которому оцениваются межгодовые и сезонные изменения стока Селенги, традиционно используется гидрометрический створ у разъезда Мостовой. В период с 1934 г. до 1999 г. среднее годовое значение расхода воды составляло 930 $м^3/с$, или 29,3 $км^3$ в год. С 1999 г. по 2017 г. включительно, отмечался маловодный период со средним годовым расходом воды в вершине дельты 505 – 809 $м^3/с$, среднемноголетний расход воды за весь период наблюдений составляет 887 $м^3/с$. В период зарегулированности наблюдалось несколько пиков водности с 1972 по середину 90-х годов XX в., приведших к значительной перестройке русловой сети.

Материалы и методы

Для исследования дельты р. Селенги используются результаты полевых гидрометрических работ и расчеты морфометрических параметров русловой сети, а также картографические методы сравнения и визуализации получаемых данных. К настоящему времени в дельте реки Селенги организовано 13 гидрометрических створов (рис.1). На створах основных проток дельты, производятся синхронные измерения расходов для оценки стока в центральной ее части. Полевые исследования проводятся в период открытого русла с июня по сентябрь. На створах организованы высотные репера, что дает возможность оценки горизонтальных и вертикальных русловых деформаций во времени. Ежегодно в протоках ведется продольное профилирование с целью выявления процессов русловой эрозии и аккумуляции, для анализа используется глубины, приведенные к абсолютным отметкам дна. Береговая эрозия учитывается по изменению положения бровки берегов и установленных реперов.

Морфометрия дельтового конуса, положение и конфигурация внешних границ, динамика гидрографической системы находятся в непрерывном процессе переформирования под влиянием и совместного действия колебаний уровня Байкала, гидрологического режима и климатических условий на территории водосборного бассейна реки Селенги. С учетом положения и динамики формирования гидроморфологических элементов различных частей дельты (береговая линия, извилистость проток и густота речной сети, заозеренность) выделено три сектора дельты: Лобановский, Среднеустьевский и Селенгинский. В указанных секторах наблюдается унаследованные морфодинамические черты формирования дельты за период с 1898 года по настоящее время. Площадь современной субаэральной дельты не постоянна на различные временные срезы, в 2011 г. площадь составила 558 $км^2$**.**

Результаты и обсуждение

В целом морфогенез дельты начального этапа периода зарегулированности сопровождался активизацией русловой перестройки с закономерным изменением

распределения стока. Роль главной протоки Харауз постепенно снижался, уступая транзит протокам Левобережная и Лобановская. Конец XX века по настоящее время характеризуется значительным снижением водности в Селенгинском бассейне. Средний объем стока Селенги до начала 2000-х годов составлял 29 км^3, в период 2000-11 гг. объем притока в Байкал снизился до 20 км^3. Общее маловодье иногда прерывается подъемами водности, что отмечалось в летне-осенние паводки 2012 и 2013 годов.

Измеренные расходы воды в вершине дельты (2004–16 гг.) варьируют в значительных пределах: от 600 до 2800 м^3/с, в зависимости от водности в бассейне. Летом 2012 и осенью 2013 годов наблюдались паводки, максимальные расходы в вершине дельты составили 2717 и 2794 м^3/с. Распределение стока по русловой сети при различной водности происходит неодинаково, изменяясь даже в течение небольшого промежутка времени. За период наблюдений всегда выявляется невязка в балансе стока от нескольких процентов до более половины стока реки. Ведущую роль в распределении стока играют протоки с интенсивным эрозионно-аккумулятивным процессом: Левобережная, Дологан, Казанова.

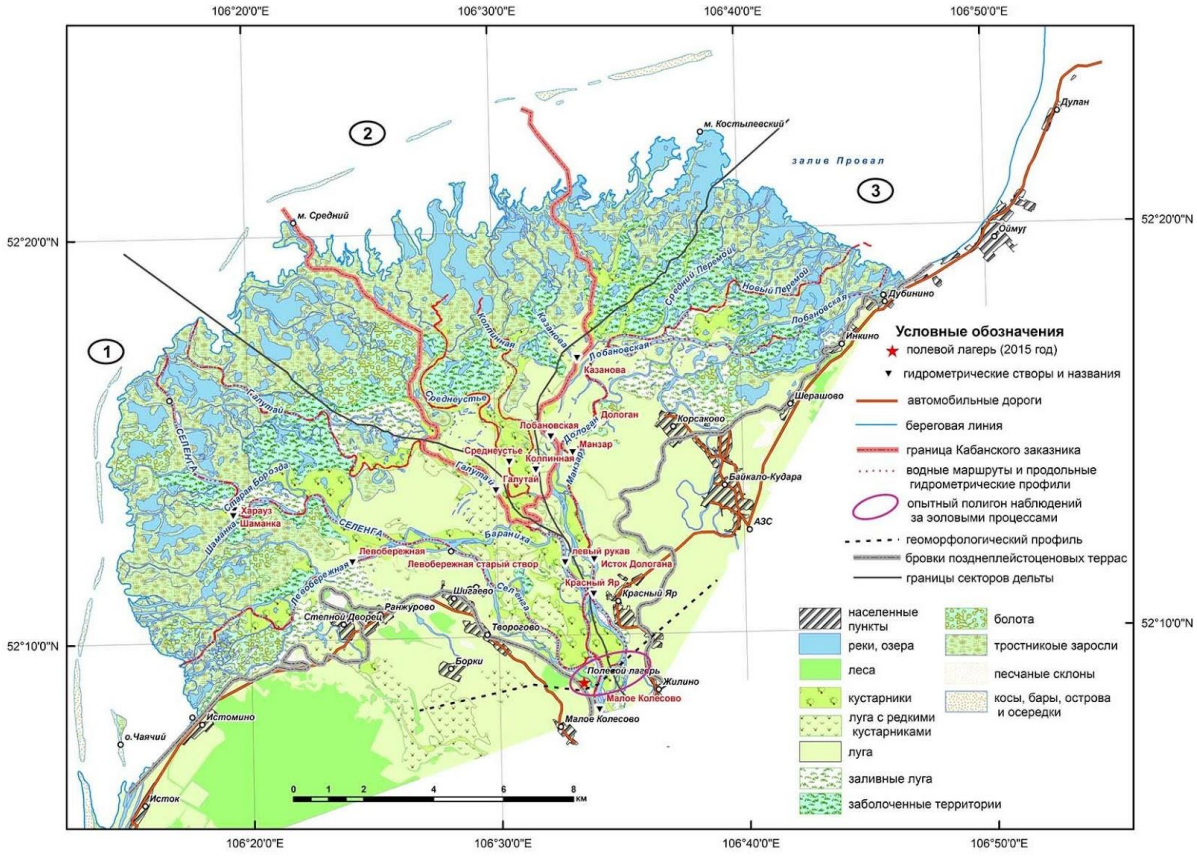


Рис. 1 Карта фактического материала (цифрами обозначены секторы дельты: 1- Селенгинский; 4- Среднеустьевский; 3- Лобановский)

При низкой водности (2004, 2015, 2017 гг.) сток в вершине дельты (ВД) составлял 618, 706 и 730 м^3/с соответственно. В 2004 г. большие доли стока проходили по протокам Харауз и Дологан (24-23%), от 13 до 17% стока принадлежало протокам Галутай, Лобановская, Левобережная. Небольшие протока Шаманка, Среднеустье и Колпинная пропускали менее 8% суммарно. В 2015 г. сток распределился по русловой сети дельты относительно равномерно: 10-14% стока прошло по протокам Левобережная, Казанова, Дологан. Сток по Лобановской и Хараузу снизился до 5-6%. Незначительную долю стока имели небольшие протоки до 6% суммарно. Невязка стока составила 40%.

Средний по водности сток наблюдался в июле 2011 и 2013 гг., расход воды в ВД составлял 1441 и 1482 м^3/с. В 2011 г. выявлена самая большая невязка в балансе стока (59%), причиной которой послужила перестройка русловой сети в системе Харауз – Левобережная. Бóльшую долю составил сток по Дологану и Лобановской. В июле 2013 г. по Левобережной прошло 29,5% стока, по Дологану – 17,7%, величина невязки составила почти 17%, что сопоставимо с суммарным стоком Харауза и Галутая.

Наибольшие значения расходов воды в ВД наблюдались в июле 2012 и сентябре 2013 гг. Уровень воды в главном узле бифуркации достигал береговых бровок. В сентябре 2013 г. вода вышла на пойму, затопленными оказались многие острова и межрукавные пространства. В обоих случаях большая часть стока прошла по Дологану (17–25,4%), сток Левобережной составил 9 – 25,4%. Более десятой части стока прошло по Лобановской. Значение доли стока Харауза заметно снизилось и составило 4–7,7%. Доля стока Галутая 6,5–7,1%. По протокам Шаманка, Среднеустье, Колпинная сток составил 0,9 – 4%.

Распределение стока в различные по водности годы во многом зависит от уклона водной поверхности от главного узла бифуркации к базису эрозии. Так, для большинства проток средний уклон составляет порядка 0,11 ‰, для протоки Левобережная – 0,14 ‰. Минимальные уклоны (0,07 ‰) для всей дельты наблюдались в 2011 и 2014 гг., максимальные (0,13 ‰) – в 2006, 2012 гг., максимальный уклон Левобережной составил в этот же период 0,18 ‰. Протока Левобережная в последние годы наиболее активная в Селенгинском секторе и в дельте в целом, благодаря наибольшим уклонам и спрямленности русла.

Выявляемая невязка, по-видимому, в многоводные годы связана с выходом воды из русел на пойму, а в маловодные периоды – невозможностью учета воды, задерживающейся в старицах, низкопорядковых руслах и перетоках. В отдельные годы невязка может составлять более 50 %, что наблюдалось в 2011 году, когда произошел перехват стока в новое русло протоки Левобережной. Подобная ситуация отмечена в случае перехвата стока из Лобановской в протоку Казанова.

Распределение водного стока по секторам дельты р. Селенги

Анализ распределения стока по секторам дельты показал, что распределение в равных долях по краевым секторам дельты наблюдается при расходах в ВД 1100, 1700 и 2000-3000 м^3/с, соответственно по 40, 20, 35 %. Через Среднеустьевский сектор проходит от 5 до 20 % (табл. 1).

Табл. 1 Распределение стока по секторам (%) при различной водности

Расход ВД, м^3/с	Селенгинский	Лобановский	Среднеустьевский
1100	40	40	~ 20
1700	>20	>20	~ 20
500-1000	↑35 - 40	↓50 - 40	< 20
1000-1500	↑35 - 45	↓ 40 - 35	~15
1500-2000	↑45 - 50	↓ 35 - 20	↓ 12 - 5
2000-3000	35	35	15
>3000	50	35	12

В маловодный год ведущее положение занимают протоки Лобановского сектора – до 50% стока, протоки центральной части дельты (Среднеустьевский сектор) пропускают не более 20% стока. При повышении расхода воды в Селенге до 2000 м^3/с происходит рост доли стока в протоках Селенгинского сектора за счет снижения стока через Лобановский и Среднеустьевский секторы. Во время высокой водности сток по русловой сети центрального сектора снижается, и главную роль в распределении стока играют протоки

Селенгинского сектора, в первую очередь увеличивается сток Левобережной. Сток через Среднеустьевский сектор при различных условиях водности относительно стабилен.

В последние 10-15 лет доля стока по Селенгинскому сектору уменьшилась до 30 и редко 45%, основной сток в этом секторе проходит по протоке Левобережная. Основное русло (Харауз) становится менее многоводным и сохраняет свое судоходное значение лишь благодаря постоянным дноуглубительным мероприятиям. Возросла роль Лобановского сектора - от 30% до 40%, где произошла существенная перестройка русловой сети в узле слияния Лобановская-Дологан, отчленение новой протоки Казанова, исчезновение проток низких порядков в средней и нижней части сектора. Сток Среднеустьевского сектора относительно стабилен до 15 %.

Заключение

За период зарегулированности произошла существенная перестройка, как системы дельтовых водотоков, так и изменение морфометрии их русел. В период 2003-16 гг. выявлена тенденция распределения стока по краевым рукавам Левобережная и Дологан, в отличие от ситуации 1971-86 гг., когда основной сток был направлен в Основное русло (Харауз), в настоящее время происходит обмеление этой судоходной протоки в среднем течении. Основная причина связана с образованием и активизацией протоки Левобережная, которой принадлежит существенная роль в перераспределении стока воды и наносов в секторе. Отмечается рост доли стока по протокам Дологан и Казанова в Лобановском секторе.

Анализ трансформации внутридельтового стока проведен для периода низкой водности в бассейне р. Селенги и отмечено, что распределение стока в целом имеет устойчивую направленность.

Исследования проводятся при финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-05-00286 и № 17-29-05052 офи_м

The analisis of runoff in the Selenga river delta

Ilicheva E.A.
V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS
lenail3663@mail.ru

Abstract: The distribution of water runoff along the channel network of the Selenga River Delta characterizes the hydrological processes which responsible for the balance of sediments and solutes runoff, flooding or drying of various parts of the delta, dynamics of the lake edge and estuary bars, and finally, determines the possibilities for economic use of these territories. Study of the distribution of water flow in the delta during the long-term, seasonal and short-term scale makes it possible to solve both the issues of fundamental science and the existing practical and forecast aims of nature management of these areas.

The end of XX century to the present time is characterized by a significant decrease in water content in the Selenga basin. The average runoff of the Selenga River into Baikal has decreased to 20 km^3. The low water level is sometimes interrupted by the rise in water content, which was noted in the summer-autumn floods of 2012 and 2013. The results of field hydrometric studies and calculations of the morphometric parameters of the channel network, as well as cartographic methods for comparing and visualizing are used to study the definition of general trends in the distribution of runoff in the Selenga River Delta. The water runoff distribution through the delta sectors depends on the water content at the top of the delta. An analysis of the water runoff distribution showed that the distribution in equal parts over the marginal sectors of the delta is observed at discharges at the top of the delta of 1100, 1700 and 2000-3000 m^3/sec, respectively at 40, 20, 35%.

The main runoff passes through the channels of the Lobanovsky sector during the low water year (600-800 m^3/sec). The runoff in the channels of the Selenginsky sector increases if water discharge is about 2000 m^3/sec at the top of the delta due to a reduction of runoff through the Lobanovsky and Sredneustievsky sectors. The water runoff in the Central sector decreases during high water period, and the Selenginsky sector is played the main role in the runoff distribution primarily due to Levoberzhnaya channel. The runoff through the Sredneustyevsky sector is relatively stable under different water conditions.

Keywords: delta, river network, water runoff, runoff distribution

Изменения соотношений стоковых характеристик рек Азербайджана

***Иманов Ф.А.*[1], Курбанов Ч.З.[1], Гасанова Н.И.[2]**
[1]*Научно-исследовательский и проектный институт «Суканал», Баку*
[2]*Бакинский Государственный Университет, Баку*
farda_imanov@mail.ru

Аннотация: В статье методом линейного тренда выполнен анализ соотношений осредненных модульных коэффициентов экстремальных характеристик стока к годовому стоку рек по регионам Азербайджана. Значимость линейных трендов оценена по величине коэффициента парной корреляции, с учетом его стандартной ошибки. Были использованы данные по стоку за 1960 - 2014 гг. по 29-и местным рекам.

Установлено, что на большей части исследуемой территории имеет место уменьшение соотношения максимального стока к годовому стоку и наоборот, увеличение соотношения минимального зимнего стока к годовому стоку, что обусловлено современными изменениями климата. Отмечается, что выявление закономерностей многолетних колебаний соотношения минимального летне - осеннего стока к годовому стоку является более сложной задачей, поскольку в условиях изменяющегося климата на эти характеристики стока рек Азербайджана сильно влияют и антропогенные факторы, особенно орошаемое земледелие.

Ключевые слова: экстремальные характеристики стока, линейный тренд, метод сравнения, антропогенные факторы, изменения климата.

Введение

Трансформация атмосферных осадков в речной сток в течение года зависит главным образом от изменения климата и характера их внутригодового распределения и факторов подстилающей поверхности, включая гидрогеологические условия бассейна. На внутригодовое распределение стока рек могут существенно влиять и антропогенные факторы (строительство водохранилищ, водозаборы и т.д.).

В качестве интегральных показателей внутригодовой неравномерности расходов воды используются коэффициенты естественной зарегулированности и внутригодовой неравномерности стока. В данной работе рассмотрены более простые показатели, а именно соотношения экстремальных характеристик стока к годовому. Эти показатели, как и интегральные зависят от различных физико – географических факторов.

Вопрос соотношения минимального и годового стока рек рассматривался в многочисленных работах (Владимиров, 1976; Быков и др., 1984; Иманов, 2000 и др.). Между этими характеристиками стока наблюдается тесная связь, хотя влияние одних и тех же факторов на формирование годового и минимального стока не всегда совпадает. Генетической основой этой связи является то, что величина увлажнения речного бассейна определяет величину годового и в большой степени подземного стока. А от последнего зависит величина минимального стока.

Минимальный зимний сток подавляющего большинства рек Азербайджана в настоящее время можно принять как естественный или же условно - естественный, поскольку имеющиеся нарушения обычно находятся в пределах точности измерений расходов воды. Летне - осенний и зимний минимальный сток рек исследуемой территории генетически однородны, так как в оба маловодных сезона на 90 – 95% формируются практически только подземными водами.

В условиях Азербайджана связь минимального и годового стока существует повсеместно. С увеличением годового стока минимальный сток возрастает и

рассматриваемая связь чаще всего является линейной. Коэффициенты корреляции этих связей высокие и изменяются от 0.78 до 0.96. В ряде районов обнаружены связи отношения минимального стока к годовому со средней высотой водосбора (Иманов, 2000).

Отношение максимального расхода воды паводков и весенних половодий к среднему многолетнему расходу воды характеризует паводочную активность речных бассейнов.

На изучаемых реках значения параметра паводочности изменяются от 3 до 1057, и они уменьшаются с увеличением площади и средней высоты водосборов, средних многолетних годовых расходов воды и осадков (Мамедов, 1989).

Исходные данные и метод анализа

Анализ соотношений экстремальных характеристик стока к годовому стоку был выполнен методом линейного тренда. Этот анализ дает возможность выявить направленные изменения в многолетних колебаниях. Были использованы данные по среднегодовым, максимальным, минимальным зимним и летне-осенним расходам воды за 1960 - 2014 гг. по 29 местным рекам, бассейны которых расположены в разных природных областях Азербайджана. Значимость линейных трендов оценена по величине коэффициента парной корреляции (R), с учетом его стандартной ошибки ($б_R$). Тренд считался значимым, если выполнялось условие $R/б_R \geq 2$, что соответствует 5%-му уровню значимости или 95%-му доверительному интервалу (Методические…,2010).

Обсуждение результатов

Анализ линейных трендов соотношений различных стоковых характеристик рассматриваемых рек показал, что они являются разнонаправленными. Учитывая это, наряду с анализом линейного тренда по отдельным рекам, были рассчитаны линейные тренды соотношения осредненного модульного коэффициента рассматриваемых характеристик стока рек, обобщенные по различным регионам Азербайджана. Немногочисленные пропуски в рядах наблюдений расходов воды были восполнены их среднемноголетними значениями (к=1).

Ниже, в качестве примера приведены линейные тренды соотношения осредненных модульных коэффициентов максимального и годового стока рек по регионам Азербайджана (рис.1).

Результаты оценки значимости линейных трендов соотношения осредненных модульных коэффициентов различных стоковых характеристик по регионам Азербайджана представлены в таблице 1.

В 4-х регионах из 5-ти, выделенных на территории Азербайджана тренды соотношения обобщенного минимального зимнего стока рек к годовому стоку являются положительными и статистически значимыми (табл.1). Тренд отсутствует лишь для рек Ленкоранской природной области. Увеличение соотношения зимнего стока к годовому стоку обусловлено повышением температуры воздуха холодного периода года, в результате чего возросло число и продолжительность оттепелей, уменьшилась промерзаемость почвы, увеличилась роль подземного питания (Водные ресурсы…,2008).

Поскольку зимний сток возрастает за счет весеннего стока, то в 4-х регионах имеет место уменьшение соотношения обобщенного максимального стока к годовому стоку, причем в 3-х регионах эти отрицательные тренды являются статистически значимыми (табл.1). Положительный, но не значимый тренд обнаружен лишь для рек Ленкоранской природной области, где в отличии от остальных регионов Азербайджана максимальные расходы воды формируются не снеговыми, а дождевыми водами.

Во всех регионах за исключением северо-восточного склона Большого Кавказа соотношения обобщенного минимального летне-осеннего стока рек к годовому стоку увеличивается. Эти тренды являются значимыми ыми лишь в 2-х регионах (южный склон

Большого Кавказа и Ленкоранская природная область). Ранее было установлено, что только в этих 2-х регионах имеет место увеличение годового стока, а в южном склоне Большого Кавказа возрастает и минимальный летне-осенний сток.

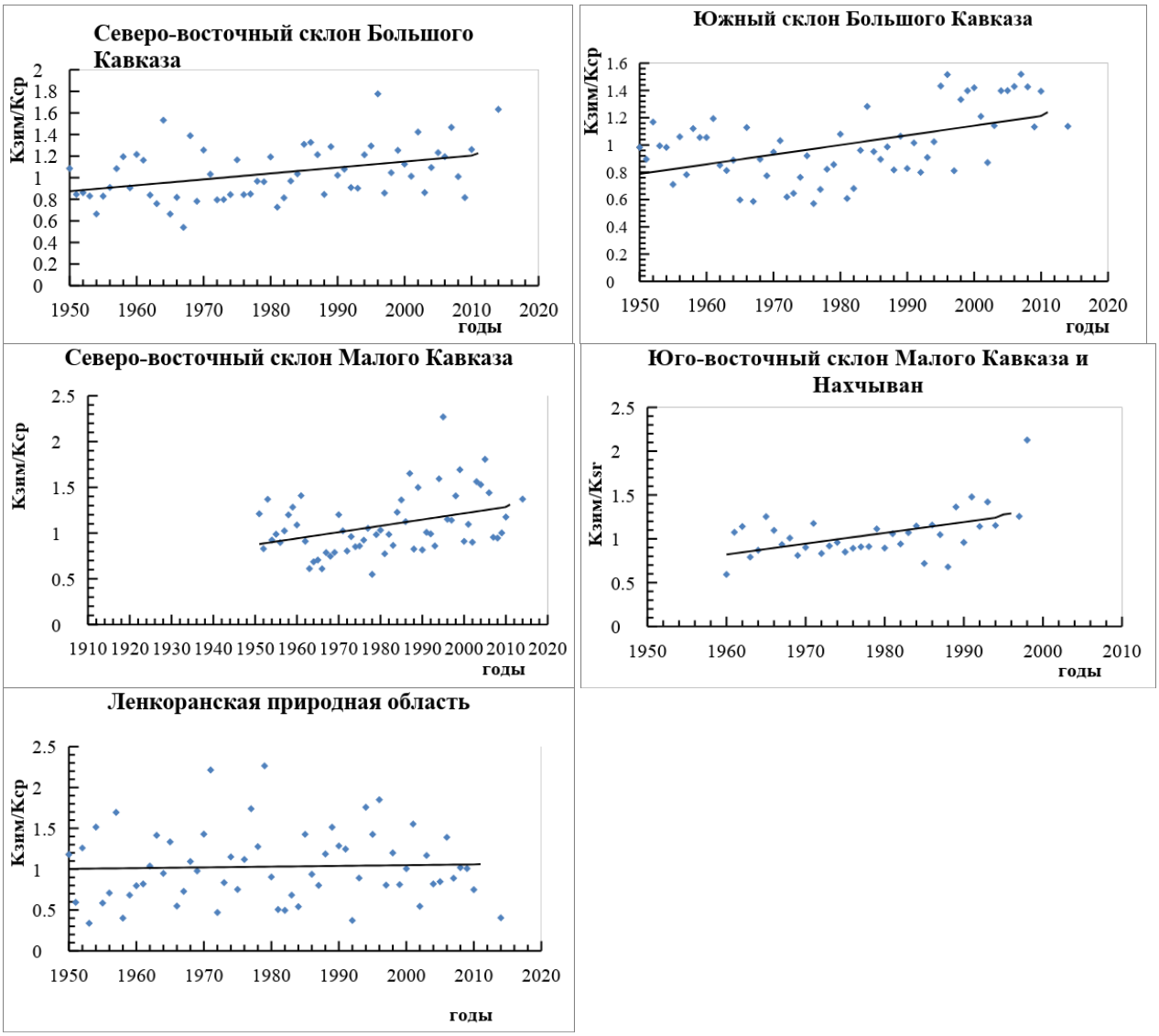


Рис.1. Линейные тренды соотношения осредненных модульных коэффициентов минимальных зимних и среднегодовых расходов воды рек по регионам Азербайджана

В 4-х регионах тренды соотношения обобщенного минимального зимнего стока рек к минимальному летне-осеннему стоку являются положительными и статистически значимыми. Это свидетельствует о том, что темпы увеличения минимального зимнего стока выше, чем минимального летне-осеннего стока (табл.1).

Выводы

Установлено, что в условиях изменяющегося климата на большей части территории Азербайджана тренды соотношения обобщенного минимального зимнего и летне-осеннего стока рек к годовому стоку являются положительными. Для минимального зимнего стока такая динамика обусловлена повышением температуры воздуха холодного периода года, в результате чего возросло число и продолжительность оттепелей, увеличилась роль подземного питания. По этой же причине на исследуемой территории в основном наблюдается уменьшение соотношения обобщенного максимального стока к

годовому стоку. Выявлено, что темпы увеличения минимального зимнего стока выше, чем минимального летне-осеннего стока.

Табл.1 Результаты оценки значимости линейных трендов соотношения осредненных модульных коэффициентов различных стоковых характеристик рек по регионам Азербайджана

Регионы	Период	$Q_{мин. зим} / Q_{год}$				$Q_{мин. летн} / Q_{год}$				$Q_{мах} / Q_{год}$				$Q_{мин. зим} / Q_{мин. летн}$			
		Знак тренда	R^2	R	$б_R$	Знак тренда	R^2	R	$б_R$	Знак тренда	R^2	R	$б_R$	Знак тренда	R^2	R	$б_R$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Северо-восточный склон Большого Кавказа	1950-2014	П	0,159	**0,40**	0,107	Н	0,027	0,16	0,124	О	0,217	**0,46**	0,124	П	0,124	**0,35**	0,111
Южный склон Большого Кавказа	1950 -2014	П	0,249	**0,50**	0,095	П	0,056	**0,24**	0,120	О	0,151	**0,39**	0,108	П	0,063	**0,25**	0,119
Северо-Восточный склон Малого Кавказа	1951-2014	П	0,141	**0,38**	0,118	П	0,009	0,09	0,136	О	0,301	**0,55**	0,096	П	0,068	**0,26**	0,128
Юго-восточный склон Малого Кавказа и Нахчыван	1960-1998	П	0,254	**0,50**	0,121	П	0,051	0,23	0,149	О	0,065	0,25	0,152	П	0,317	**0,56**	0,111
Ленкоранская природная область	1950-2014	Н	0,001	0,03	0,127	П	0,065	**0,25**	0,119	П	0,027	0,16	0,124	О	0,017	0,13	0,125

Примечание. Жирным шрифтом обозначены статистически значимые коэффициенты корреляции при 5%-ом уровне значимости; П-положительные тренды; О-отрицательные тренды; Н-тренда нет.

Список литературы

Быков В.Д., Скорняков В.А., Федорова И.С. Анализ региональных зависимостей минимального стока горных рек от физико-географических факторов (на примере Кавказа) // Расчеты речного стока (методы пространственного обобщения). М., Изд-во МГУ, 1984. С.119-149.

Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период года. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. - 295с.

Водные ресурсы России и их использование. // Под ред. проф. И.А.Шикломанова.-СПб.:Государственный гидрологический институт. 2008.-600с.

Иманов Ф.А. Минимальный сток рек Кавказа. Баку. Изд-во Нафта–Пресс, 2000. - 298с.

Мамедов М.А. Расчеты максимальных расходов воды горных рек // Л.: Гидрометеоиздат, 1989.- 184с.

Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. Санкт-Петербург, Нестор-История, 2010. - 162с.

Change of proportion of runoff characteristics of rivers of Azerbaijan

***Imanov F.A.*[1], *Kurbanov Ch.Z.*[1], *Hasanova N.I.*[2]**
[1] *"Azersu" OJSC "Sukanal" Scientific Research and Design Institute, Baku*
[2] *Baku State University, Baku*
farda_imanov@mail.ru

Abstract: There have been conducted in the article analyses of proportion of averaged module coefficients of extreme characteristics of runoff to the annual runoff with the line trend method for the regions of Azerbaijan. Value of line trends assessed on the volume of coefficient of double correlation through taking into account its standard error. There had been used the runoff data for the years 1960 – 2014 on 29 local rivers. It has been identified that in a major part of the investigated area there is a reduction of proportion of maximum runoff towards the annual runoff and vice versa increase of proportion of minimal winter runoff to annual runoff which is conditioned with modern climate changes. It is noted that revealing patterns of multiyear fluctuations of proportion of minimal summer – fall runoff to annual runoff is more complicated task, as in conditions of changing climate the anthropogenic factors heavily impact to characteristics of runoff of rivers of Azerbaijan, especially to irrigated lands.

Keywords: extreme runoff characteristics, linear trend, comparison method, anthropogenic factors, climate change

Влияние подводного каньона на гидролого-морфологические процессы в устьях рек

***Исупова М.В.*, Долгополова Е.Н.**
Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
misupova@yandex.ru

Аннотация: Рассмотрены особенности воздействия подводного каньона на устьевом взморье реки на гидролого-морфологические процессы в устье (динамику вод и наносов, проникновение осолоненных вод, эрозионно-аккумулятивные процессы и процессы дельтоформирования и др.). Приводятся результаты исследований влияния каньонов разного происхождения на формирование устьев рек Конго и Св. Лаврентия, а также в устьях рек Черноморского побережья России, приуроченных к подводным каньонам и теряющих в них бóльшую часть стока наносов.

Ключевые слова: Сток воды и наносов, дельта, эстуарий, подводный каньон, динамика вод и наносов

Введение

Долины на дне морей и океанов столь же разнообразны, как и долины суши. Они служат путями транспортировки осадков в глубоководные части океанических бассейнов, имеют разное происхождение и различные морфологические характеристики. В данной статье мы рассматриваем два типа морских долин – подводные каньоны и трогообразные долины.

Подводные каньоны (submarine canyons) – морские (подводные) долины с высокими крутыми склонами, сравнительно извилистым очертанием и V-образным поперечным профилем. Ярким примером подобного объекта служит подводный каньон Конго.

Происхождение подводных каньонов связано с возникновением разломов и трещин на подвижных материковых склонах (континентальном шельфе). Каньоны образуются как в вулканических породах, так и в осадочных. Существуют несколько гипотез образования морских каньонов (Шепард и Дилл, 1972; Леонтьев и Сафьянов, 1973): 1) субаэральная эрозия, способствующая развитию каньона; 2) эродирующее воздействие мутьевых потоков; 3) морские процессы (образование впадин, глубоководные течения и др.); 4) нарастание вверх стенок каньонов. Как правило на образование и развитие морских каньонов влияет совокупность различных факторов − тектонических, морфологических, гидрологических, важную роль в которых играют мутьевые потоки в каньоне и морские процессы. Сами каньоны перехватывают массы обломочного материала, поступающего в прибрежную часть моря с суши.

Трогообразные долины у внешних склонов дельт (delta-front troughs) – морские долины, схожие по происхождению с подводным каньоном, с U-образным поперечным профилем, относительно прямолинейные с небольшим количеством или полным отсутствием притоков. Локализованы исключительно на внешних склонах дельт. Побережье залива Св. Лаврентия относится к ледниковому трогу (glacial trough) и характеризуется чередованием вдоль береговой линии остроконечных мысов и серповидных углублений береговой линии.

Подводные каньоны, приуроченные к устьевым областям рек, оказывают существенное влияние на гидролого-морфологические процессы в устьях, главным образом на проникновение осолененных вод и динамику наносов. Подводный каньон, как правило, выступает в качестве перехватчика масс обломочного материала, поступающего в прибрежную часть моря. Аккумуляция твердого стока реки, поступающего в каньон,

приводит к тому, что река в своем устье не образует дельты выдвижения даже при достаточно большом стоке наносов реки. Перемещение по каньону масс обломочного материала терригенного происхождения (мутьевые потоки) и их отложение приводят к образованию обширных конусов выноса наносов.

Процессы в устьевых областях рек, связанные с наличием глубоководного каньона (трога) в эстуариях и в приемном водоеме

В данной статье приводятся результаты исследований влияния каньонов разного происхождения на формирование устьев рек Конго и Св. Лаврентия, а также в устьях рек Черноморского побережья России (Мзымта, Псоу) (рис. 1).

Наличие подводного каньона (или глубоководного желоба) влияет на стратифицированный приливный поток в устье реки и способствует формированию циркуляции вод, сопровождающейся в том числе внутренними волнами (или внутренними приливами), что происходит, например, в устье р. Св. Лаврентия.

Эстуарий р. Св. Лаврентия − главная часть устьевой области р. Св. Лаврентия (рис. 1, б) − протягивается на 600 км от своей вершины (г. Квебек) до устья (устьевого створа эстуария) в районе западной оконечности о. Антикости). Эстуарий ограничен побережьем п-овов Лабрадор с севера и Гаспе – с юга и имеет типичную для многих эстуариев постепенно расширяющуюся воронкообразную форму. Площадь эстуария составляет 13290 км^2, его ширина увеличивается по течению в среднем от 17 до 42 км, а максимальная глубина доходит до 350 м (Долгополова и Исупова, 2011). Резкое увеличение глубины объясняется геологическим строением эстуария: ниже впадения р. Сагеней вдоль северного берега эстуария проходит глубоководный Лаврентийский желоб (древняя долина реки тектонического происхождения, углубленная ледником), который простирается по дуге на 1000 км через пролив Онгедо, залив Св. Лаврентия по проливу Кабота к внешнему краю шельфа Атлантического океана.

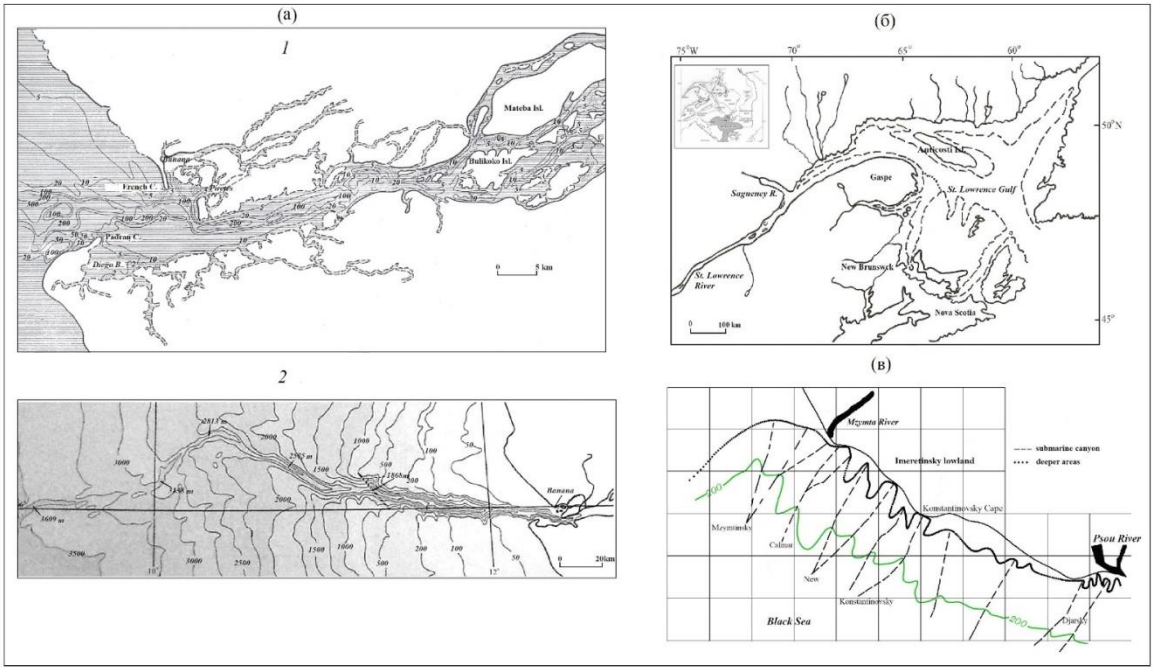


Рис. 1. Карты-схемы: (а) устьевой области р. Конго (1) и подводного каньона Конго (2) (Исупова и Долгополова, 2016); (б) устьевой области р. Св. Лаврентия и одноименного залива; (в) береговой зоны Черного моря между устьями рек Мзымта и Псоу

Макроприливный эстуарий р. Св. Лаврентия проходит четыре основных стадии циркуляции вод за приливный цикл: полное заполнение, спад уровня воды, низкая вода и новое заполнение эстуария. Остаточное (осредненное за приливный цикл) течение направлено в первую и четвертую стадии в сторону реки, а во вторую и третью стадии – в сторону залива. В нижнем эстуарии этот поток отклоняется в сторону южного берега. Порог, образованный Лаврентийским желобом и глубоким устьем р. Сагеней, влияет на стратифицированный приливный поток и способствует формированию циркуляции вод, сопровождающейся внутренними волнами (или внутренними приливами) (Drapeau G. et al., 2003). В приливную фазу холодная вода из глубинных слоев перетекает через порог и, будучи гравитационно-нестабильной относительно окружающей воды, опускается ко дну и поступает в средний эстуарий и в устье р. Сагеней.

Наличие глубоководного Лаврентийского желоба существенно влияет на взаимодействие речных и морских вод в и формирование эстуарной циркуляции в устье р. Св. Лаврентия (Долгополова и Исупова, 2011). В теплое время года средний и нижний эстуарий, как правило, подразделяется по глубине на три четких слоя: поверхностный слой (0–30 м) с соленостью от 26 до 32‰, образующийся под опресняющим влиянием стока рек Св. Лаврентия и Сагеней; холодный промежуточный слой (30–125 м) с температурой –1°…+4°С и соленостью 32–33‰, формирующийся каждую зиму в результате охлаждения поверхности воды в заливе Св. Лаврентия; и соленый (33–34‰), но более теплый (+2…+5°С), придонный слой, состоящий из вод Атлантического океана. Холодное и соленое компенсационное течение в придонной области движется из залива Св. Лаврентия и нижнего эстуария в сторону реки, обновляя воды глубоких ложбин верхнего и среднего эстуария. Остаточная, осредненная за приливный цикл, циркуляция вод является типичной для эстуариев с осолоненным поверхностным слоем, движущимся в сторону моря, и холодным промежуточным и придонным слоями, движущимися в сторону суши с меньшей скоростью.

В результате взаимодействия речных и морских вод вблизи границы интрузии осолоненной воды в эстуарии р. Св. Лаврентия формируется зона максимальной мутности, мигрирующая в зависимости от фазы прилива и сезонных изменений стока реки, и характерная для многих частично перемешанных эстуариев (Долгополова Исупова, 2011). А уникальная топография дна способствует аккумуляции взвешенных наносов в Лаврентийском желобе и в заливе Св. Лаврентия. в течение всего года.

Подводные каньоны, приуроченные к устьевым областям рек, оказывают существенное влияние на динамику наносов и, соответственно, на процессы дельтоформирования в устьях. Подводный каньон, как правило, выступает в качестве перехватчика масс обломочного материала, поступающего в прибрежную часть моря. Аккумуляция твердого стока реки, поступающего в каньон, приводит к тому, что река в своем устье не образует дельты выдвижения даже при достаточно большом стоке наносов реки. Перемещение по каньону масс обломочного материала терригенного происхождения (мутьевые потоки) и их отложение приводят к образованию обширных конусов выноса наносов.

Ярким примером подобного воздействия служит подводный каньон Конго (рис. 1, а) (как реликтовое образование прошлых геологических эпох), выступающий в качестве объекта, аккумулирующего практически весь твердый сток р. Конго и препятствующий заполнению эстуария и формированию дельты выдвижения (Исупова и Долгополова, 2016). Наличие подводного каньона в эстуарии препятствует также проникновению осолоненных вод в дельту Конго.

Устьевая область р. Конго относится эстуарно-дельтового типа включает малорукавную дельту выполнения длиной 60 км, шириной до 20 км и площадью около

1000 км^2, приливный эстуарий длиной 35 км и площадью 234 км^2 (Исупова и Долгополова, 2016) и открытое устьевое взморье (часть прибрежной зоны Атлантического океана). Вершина дельты находится примерно в 95 км от океана. Дельта состоит из нескольких рукавов, лишь малая часть из которых судоходна, множества отмелей и островов. Ниже по течению, в 6 км выше г. Малела, дельтовые рукава соединяются и образуют единое русло шириной около 3 км. По направлению к океану ширина эстуария Конго увеличивается до 10.2 км в его устье, расположенном между м. Французским на оконечности п-ова Банана на севере и м. Падран на юге.

В эстуарии, в 7 км ниже его вершины, берет начало глубокий подводный каньон Конго (рис. 1, а, *2*), протянувшийся на 28 км в самом эстуарии и далее прорезающий шельф, а затем материковый склон (Шепард и Дилл, 1972). В вершине каньона глубина составляет около 20 м, увеличиваясь резко до 100 м и далее к устью эстуария до 220 м. Каньон Конго пересекает шельф шириной 90 км и продолжается вниз по континентальному склону и глубоко врезается в нижний континентальный склон (максимальный врез каньона 1100 км) до глубин 2560 м (по оси каньона), заметно отклоняясь к северу (Шепард и Дилл, 1972). Далее следует в том направлении до отметок глубин 2800 м, а потом отклоняется к югу и продолжается до отметки глубин 3100 м. В 190 км от вершины каньона на обоих его бортах развиты прирусловые валы. Огромный конус выноса Конго распространяется вдоль каньона от основания континентального склона до абиссальной равнины с очень малым уклоном поверхности, заканчиваясь «лепестком» отложений, и указывает на длительность существования каньона (как реликтового образования прошлых геологических эпох), прорезающего океанский шельф.

Значительный водный сток р. Конго (1310км^3/год) и относительно небольшая величина приливов на побережье океана вблизи устья реки (0.8−1.6 м) не должны способствовать проникновению осолоненных вод в эстуарий. Однако наличие в эстуарии подводного каньона и довольно большой уклон дна эстуария позволяют морским водам с соленостью около 35‰ проникать у дна в эстуарий Конго. В эстуарии наблюдается резкая стратификация вод (так называемый клин осолоненных вод). Морская вода заполняет впадины эстуария и подводный каньон (Исупова и Долгополова, 2016).

Подводный каньон Конго выступает в качестве объекта, аккумулирующего практически весь твердый сток Конго (68–91.8 млн т/год). Таким образом каньон препятствует заполнению эстуария и формированию дельты выдвижения, которую река не образует при достаточно большом стоке наносов реки (~86 млн т/год). Основной поток взвешенных наносов из эстуария Конго в сторону океана направлен главным образом по каньону, на дне которого происходит накопление как терригенного материала, так и обломочного материала, поступающего с северным вдольбереговым течением. Результатом перемещения через каньон этих масс и последующего их отложения выступает конус выноса Конго, один из самых больших конусов выноса наносов в океан в мире.

Вне каньона на дне эстуария наблюдается довольно мощный слой мягкого ила. Илистое дно характерно также для мелких протоков и рукавов, впадающих непосредственно в эстуарий Конго, и южной прибрежной полосы эстуария, покрытой мангровой растительностью, например, в бух. Диего (рис. 1, а, *1*).

Схожие процессы перехвата взвешенных наносов и осаждение их на дне подводных каньонов происходят не только в крупных устьях рек, впадающих непосредственно в океан, но и в устьях малых рек. Примером могут служить устья рек Черноморского побережья России (Мзымты, Псоу и др.), приуроченные к подводным каньонам и теряющие в них бóльшую часть стока наносов.

Участок побережья Черного моря между устьями рек Мзымта и Псоу (рис. 1, в) – аккумулятивный и имеет сложный рельеф подводного склона. Главные источники поступления наносов, формирующих берег, − твердый сток рек и вдольбереговой поток

наносов в море. Взвешенные наносы распространяются из рек в море в виде «факела» на несколько километров и переносятся вдольбереговыми течениями на большие расстояния, постепенно осаждаясь

Морской склон на этом участке побережья Чёрного моря изрезан эрозионными оползневыми подводными каньонами (Мзымтинский, Кальмар, Новый, Константиновский, Джарский и Псоусский), которые влияют на береговые процессы. По подводному склону большая часть речных наносов уходит на глубину, которая исключает их обратное поступление. В этом проявляется негативное воздействие подводных каньонов на литодинамическиую систему побережья Черного моря между устьями рек Мзымта и Псоу (Крыленко и др., 2011).

На устьевом взморье рек Мзымта и Псоу формируются подводные устьевые бары и надводные блокирующие косы длиной 150−300 м, которые сложены наносами, поступающими как из рек, так и с вдольбереговым морским потоком. Во время сильных паводков устьевые бары и косы частично размываются, и слагающий их материал выносится в море в сторону подводных каньонов. При штормах накопленный в устьевой зоне материал вовлекается во вдольбереговой поток наносов.

Например, в устье Мзымты в паводки поток воды и наносов, сосредоточенный в едином русле реки, распространяется в море «факелом» в сторону Мзымтинского каньона. Почти весь твердый сток Мзымты остается на устьевом взморье реки (блокируя устье) или уходит в подводный каньон, покидая литодинамическую систему побережья.

Выводы

Подводные каньоны (или глубоководного желоба), приуроченные к устьевым областям рек, оказывают существенное влияние на стратифицированный приливный поток в устье и способствует формированию циркуляции вод, сопровождающейся в том числе внутренними волнами (или внутренними приливами), на проникновение в устья осолоненных вод, а также на динамику наносов и, соответственно, на процессы дельтоформирования в устьях, а также.

Подводный каньон, как правило, выступает в качестве перехватчика масс обломочного материала, поступающего в прибрежную часть моря. Аккумуляция твердого стока реки, поступающего в каньон, приводит к тому, что река в своем устье не образует дельты выдвижения даже при достаточно большом стоке наносов реки.

Схожие процессы перехвата взвешенных наносов и осаждение их на дне подводных каньонов происходят не только в крупных устьях рек, впадающих непосредственно в океан, но и в устьях малых рек, впадающих во внутренние моря.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00288).

Список литературы

Долгополова Е.Н., Исупова М.В. Динамика вод и наносов в устьевой области р. Святого Лаврентия // *Водные ресурсы*, том 38, 2011, № 4: 422–438.

Исупова М.В., Долгополова Е.Н. Гидролого-морфологические процессы в устьевой области р. Конго и влияние на них подводного каньона // *Водные ресурсы*, том 43, 2016, № 4: 359–378.

Крыленко В.В., Исупова М.В., Крыленко М.В., Дзагания Е.В. Гидроэкология: формирование геоэкологических особенностей устьевой области р. Мзымта и побережья Имеретинской низменности под действием естественных и антропогенных факторов // *Инженерная экология*, 2011, № 5 (101): 3–15.

Леонтьев О.К., Сафьянов Г.А. Каньоны под морем. М.: Мысль, 1973. 261 с.

Шепард Ф., Дилл Р. Подводные морские каньоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 343 с.

Drapeau G., Munro J., Nellis P. Long-term fate of dredged sediments at Ile Madame dumping site (st. Lawrence estuary): a basic assessment // *Proc 2-nd Inter. Symp on Contaminated Sediments*. 2003. Quebec. Canada: 36–40.

Savoye B., Babonneau N., Dennielou B., Bez M. Geological overview of the Angola–Congo margin, the Congo deep-sea fan and its submarine valleys // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. November 2009. Volume 56. Issue 23: 2169–2182.

The influence of the submarine canyon on the hydrological and morphological processes in river mouths

Isupova M.V., Dolgopolova E.N.
Water Problems Institute, Russian Academia of Science, Moscow, Russia
misupova@yandex.ru

Abstract: In this article the influence of the submarine canyon at the nearshore of river mouth on the hydrological and morphological processes in the mouth (water dynamics and sediment transport, seawater intrusion into estuaries, erosion-accumulative processes etc.), is considered. The mouths of the rivers Congo and St. Lawrence are studied as the examples of the effect of canyons of different genesis on estuary formation and at river mouths of the Black Sea coast, which have relatively deep canyons at the coastal zone, are the striking examples of canyon interception of the main part of sediment flow.

Keywords: water flow and sediment transport, delta, estuary, submarine canyon, the dynamics of water and sediments

Особенности морфодинамики русла и баланс наносов на верхней Оби (на участке от г. Барнаула до г. Камень-на-Оби)

Камышев А.А.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
arsenii.kamyshev@yandex.ru

Аннотация: В статье рассмотрены основные закономерности изменения морфодинамических типов (классификация МГУ) по длине и приведены факторы их определяющие. Описаны общие условия формирования русла. Дана краткая характеристика деформаций. На основе сопоставления картографических данных за 2015 и 2017 гг. получены количественные характеристики баланса наносов на наиболее сложных перекатах.

Ключевые слова: Русловые процессы, баланс наносов, тип русла, Обь, речное русло.

Введение

Участок русла от г. Барнаула до г. Камень-на-Оби отличается различными условиями формирования русла. Наличие урбанизированных участков, высокий коренной берег, влияние подпора от Новосибирского водохранилища обуславливают уникальное сочетание морфодинамических типов русла.

В верхней части участка (до с. Шелаболихи) русло проходит в основном вдоль левого коренного берега (уступы Приобского степного плато), образуя одиночные разветвления веерного типа (Рулёва, 1988; Чалов, 2011), расположенные ниже его мысов. У п. Гоньбы и у устья р. Чумыша русло отходит от него, свободно меандрируя и, возвращаясь к коренному берегу, образует вынужденные излучины. Ниже устья р. Чумыша угол подхода потока к нему превышает 90º. Возникающий подпор, усиливающийся в половодье сливом воды с левобережного массива поймы – причина образования крупного одиночного разветвления, гипертрофированного изгиба русла, спрямляющих и рассекающих шпору вынужденной излучины проток и переката со сложным режимом деформаций.

Ниже с. Шелаболихи (нижняя часть участка) русло по диагонали пересекает пойму, сначала формирует односторонние разветвления, в основном русле которого развиты перекаты с побочнями в шахматном порядке и элементарные острова, создающие разветвления второго порядка, затем меандрирует и, подходя к уступам песчаной террасы, образует несколько вписанных излучины, иногда очень крутых.

Для анализа баланса наносов было осуществлено сравнение планов съемок перекатов на наиболее затруднительных участках (Шелаболихинские, Самодуровские, Кучукские перекаты) за 2015 и 2017 гг. Съемки за перечисленные годы были оцифрованы. Из съемки 2015 года была вычтена съемка 2017 г. Подобные манипуляции позволили получить наглядную картину динамики прекатов.

Участок Шелаболихинских перекатов

На данном участке за два года произошла общая аккумуляция наносов в объеме 1,52 млн.м^3. В верхней по течению части участка наблюдается вытянутая полоса аккумуляции, протянувшаяся от правого берега к левому под небольшим углом. Для данной полосы характерны положительные значения изменения отметок дна величиной до 3-4 метров, что вызвано смещением переката вниз по течению. В центральной части анализируемого участка наблюдается область с преобладанием денудационной составляющей, при этом величины падения отметок дна незначительны и не превышают 2-3 м. Для нижней части

рассматриваемого участка свойственна наиболее интенсивная аккумуляция, с локальными максимумами до 5 м.

Рис. 1 Участок Шелаболихинских перекатов

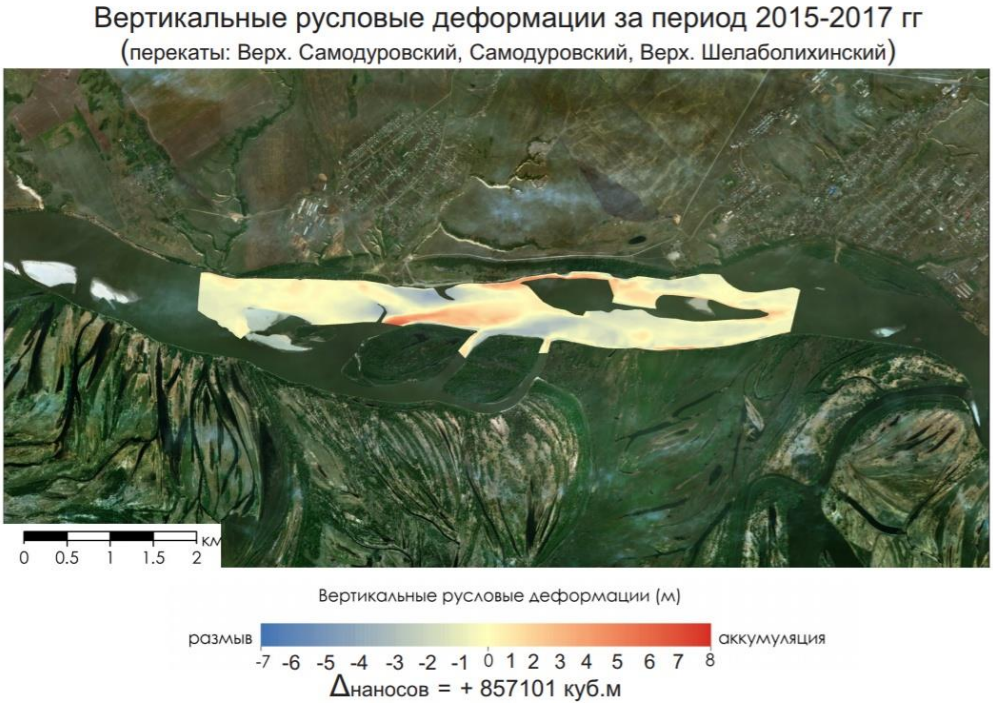


Рис. 2 Участок Самодуровских перекатов

Участок Самодуровских перекатов (рис. 2).

На данном участке за исследуемый двухгодичный период произошло накопление наносов в объеме 0,857 млн. $м^3$. В центральной части наблюдается область с максимальной аккумуляций для участка, что обусловлено с изменением положения

динамической оси потока, повлекшей за собой трансформацию гидравлической структуры потока – уменьшению скоростей и вызвавшему повышение отметок дна в этом районе. Около берегов существуют чередующиеся небольшие по размеру участки с эрозией и аккумуляцией, существование которых обусловлено движением побочней.

Участок Кучукских перекатов (рис. 3).

Для данного участка характерна аккумуляция в 0,821 млн. м^3 за период с 2015 по 2017 гг. Основная зона аккумуляции наносов расположена в верхней части участка около правого берега, где изменение отметок дна составило до 6-7 м. У оголовков островов и осередков, расположенных в верхней и центральной части участка, происходит незначительная эрозия, а в ухвостьях – аккумуляция, что свидетельствует о возможности их смещения вниз по течению. Однако у оголовка острова в нижней части исследуемого района денудация не наблюдается, что вероятнее всего обусловлено смещением срежневой зоны потока в сторону правого берега - противоположную от данного берега.

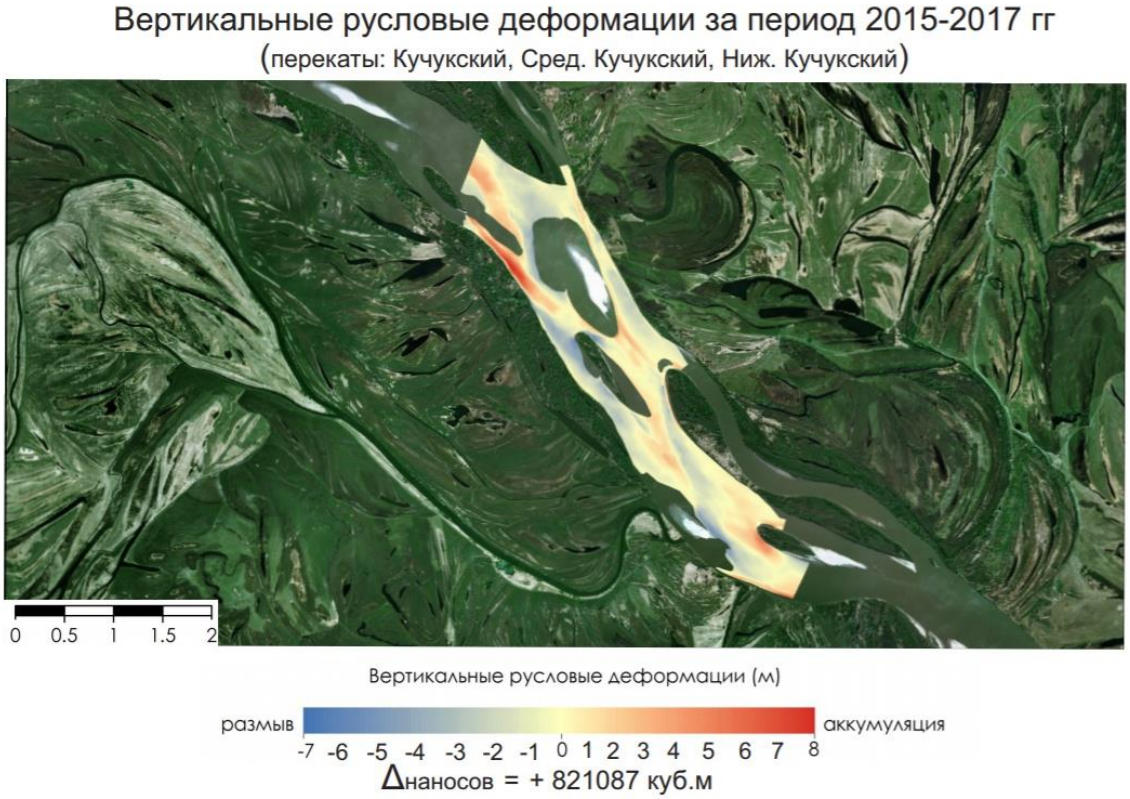


Рис. 3 Участок Кучукских перекатов

Список литературы

Рулёва С. Н. Морфология и динамика русла верхней и средней Оби и влияние на них гидротехнических мероприятий. Автореф. дисс. … канд. геогр. наук. М.: МГУ. 1988.

Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. – 960 с.

The features of riverbed morphodynamics and sediment balances in the upper part of Ob river (the district of research Barnaul – Kamen-na-Obi)

Kamyshev A.A.
M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow
arsenii.kamyshev@yandex.ru

Abstract: The main regularities of morphodynamic types (MSU classification) along the length are considered in the article and their determining factors are given. The general conditions of riverbed formation are described. A short characteristic of deformations is given. Based on the comparison of cartographic data for 2015 and 2017, quantitative characteristics of the sediment balance on the most complex parts of shallow water were obtained.

Keywords: Riverbed processes, sediment balance, type of riverbed, Ob, riverbed.

Анализ пространственно-временной динамики годового стока рек севера Дальнего Востока России в условиях изменения климата

Карашова М.И.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
m.karash@yandex.ru

Аннотация: Данная работа посвящена выявлению особенностей многолетних колебаний годового стока рек, оценке параметров стока и картографическому отображению закономерностей его изменения по территории Якутии, Магаданской обл. и Чукотского АО. В качестве исходных данных в работе использованы стоковые наблюдения на 167 гидрологических постах (г/п) за весь гидрометрический период. В большинстве случаев он составляет 50–60 лет. Однако, есть посты с продолжительностью ряда до 90 лет, т.е. начиная с конца 1920-х гг. Был сформирован самый полный электронный массив из среднемесячных ($Q_{мес}$) и среднегодовых ($Q_{год}$) расходов воды. В рамках исследования было выполнено комплексное изучение и оценка тенденций синхронности и синфазности колебаний годового стока воды рек. На основе совпадения колебаний с учётом географических и высотных особенностей территории проводилось выделение гидрологически однородных районов. В каждом из которых было выбрано по 2-3 опорных гидрологических поста, по которым была выполнена оценка параметров распределения годового стока средних по размеру рек. Оценка позволила выявить аналитические закономерности, на основе которых были построены картографические отображения изменения годового стока по территории и с высотой местности. Полученная в рамках исследования карта стока позволила произвести расчет притока речных вод в арктические моря и устья больших рек, уточнив уже имеющиеся данные, а также закрыв многие пробелы. Суммарное значение стока с исследуемой территории в омывающие её моря составило 1094 км³/год. Дополнительно, для объяснения причин многолетних изменений стока и выделения характерных гидрологических периодов, были привлечены данные сетевых метеостанций Росгидромета по месячным и годовым температурам воздуха, откорректированным суммам осадков. Установленные закономерности многолетних изменений годового стока воды рек, безусловно, вызваны региональными климатическими изменениями и, прежде всего, температуры воздуха и атмосферных осадков. Водохозяйственная деятельность на сток воды рек региона и его межгодовую и многолетнюю изменчивость никак не влияет.

Ключевые слова: Крайний Север, годовой сток воды, изменение климата, гидрологическое районирование, карта стока, статистический анализ, синфазность, синхронность, приток речных вод в моря.

Введение

В последние годы со стороны различных государственных структур, коммерческих и экологических организаций все больше внимание уделяется районам Крайнего Севера, Российской Арктики и Дальнего Востока. Причин этому несколько. Во-первых, это огромный ресурсный потенциал этих территорий, который в условиях потепления климата, истощения традиционных месторождений и технологического прогресса становится более доступным и притягательным для компаний. Во-вторых, это значимые климатические изменения в высоких широтах (Второй…, 2014), влияющие не всегда в позитивном ключе на природные системы и процессы в регионе, уязвимую арктическую и приарктическую фауну и флору, усложняющие и удорожающие хозяйственную

деятельность. В-третьих, это экологические последствия по мере дальнейшего разрастания и усложнения региональной хозяйственной деятельности.

Решение этих и других вопросов требует существенного обновления и расширения информационных основ управления, мониторинга, и социально-экономического развития северных и дальневосточных территорий. Одним из ключевых направлений этой деятельности является детализация и актуализация сведений по современным гидрологическим процессам в регионе, особенностям пространственно-временной изменчивости гидрологических характеристик, в первую очередь, характеристик стока. Это неслучайно, поскольку на реках расположено большее число населенных пунктов, и к ним тяготеют горнодобывающие предприятия. По рекам осуществляется северный завоз и вывозится часть местной продукции. Реки – источник дешевой и экологически чистой электроэнергии, рыбы. И именно реки и речной сток очень чувствительны к крупномасштабным климатическим изменениям и хозяйственной деятельности, с последующим изменением не только самого стока и водного режима, но и частоты и величины опасных гидрологических процессов (Второй…, 2014). Однако, необходимо признать, что существующие и планируемые на упомянутых территориях водохозяйственные и водоохранные мероприятия, развитие транспортной инфраструктуры, включая трубопроводы, не обеспечены в должной мере гидрологическими данными и их географическими обобщениями. Материалы для расчета стоковых характеристик на неохваченных стационарными наблюдениями территориях, реках и отдельных речных участках датируются 1970-ми – началом 1980-х гг. (Атлас…. 1986; Ресурсы…, 1969, 1972). Проблема усугубляется климатически обусловленными и уже статистически значимыми изменениями стока и режима северных рек, сокращением и так небольшого числа гидрологических постов. В первую очередь, это относится к северным районам Республики Саха (Якутия), Магаданской обл. и Чукотского АО, входящими в состав ДФО.

Материалы и методы

В качестве исходных данных в работе использованы стоковые наблюдения на 167 гидрологических постах (г/п) за весь гидрометрический период. В большинстве случаев он составляет 50–60 лет. Однако, есть посты с продолжительностью ряда до 90 лет, т.е. начиная с конца 1920-х гг. Был сформирован самый полный электронный массив из среднемесячных ($Q_{мес}$) и среднегодовых ($Q_{год}$) расходов воды. Дополнительно были привлечены данные сетевых метеостанций (м/с) Росгидромета по месячным и годовым температурам воздуха, откорректированным суммам осадков, находящиеся в прямом доступе на портале ВНИГМИИ МЦД (http://meteo.ru/data).

Основными методами обработки и анализа исходных данных стали стандартные гидрологические расчеты с оценкой среднего, исправленных коэффициентов вариации (C_v), асимметрии (C_s) и автокорреляции (r_1), предварительным изучением рядов на достоверность и с восстановлением отсутствующих значений, согласно рекомендациям из (Магрицкий, 2014; СП 33-101-2003). Восстановление отсутствующих значений и удлинение рядов до репрезентативной длины производилось методом одномерной и множественной регрессии по связям годового стока либо с сезонным стоком этого же поста, либо с годовым стоком рек и створов-аналогов. Это потребовало построения матрицы парных коэффициентов корреляции (R) и районных пространственных корреляционных функций (ПКФ), характеризующих связь R и расстояний между центрами водосборов, что послужило источником информации о степени синхронности многолетних колебаний стока на смежных и отдаленных постах. Критериями тесноты связи и достоверности регрессионных моделей выбраны значение коэффициента парной и множественной линейной корреляции $R>0,7$ и значение коэффициента достоверности $R^2>0,5$.

Были применены статистические методы проверки рядов $Q_{год}$ на соответствие важным статистическим гипотезам (при уровне значимости $\alpha=5\%$), в частности на нарушение однородности, стационарности колебаний и случайность, с помощью критериев Фишера

(*F-test*), Стьюдента (*t-test*) и Манна–Уитни (*U-test*) применительно к коррелированной во времени и асимметричной гидрологической информации, критериев Андерсена (*t*(A)) и числа серий (*t*(*u*)), коэффициента ранговой корреляции Спирмена (*Spearmen RCC*).

Также были построены разнообразные эмпирические зависимости и хронологические графики. Ординаты нормированной разностной интегральной кривой (НРИК) рассчитаны по формуле Sti=it(xi/x-1)/Cv, суммарной интегральной кривой – по Ssi=itxi/x. НРИК позволили выявить многоводные и маловодные периоды, циклы в колебаниях $Q_{год}$, группировать реки по синфазности колебаний $Q_{год}$ и вместе с результатами корреляционного анализа, сведениями из (Болгов, Коробкина, 2011; Кузин, Бабкин, 1979; Ресурсы…, 1969, 1972 и др.) произвести гидрологическое районирование рассматриваемой территории по схожести многолетнего хода и генезиса $Q_{год}$. Основная часть статистического анализа выполнена в программах HydroStatCalc (ГГИ), Гидрорасчеты (НПО «Гидротехнология»), Excel (компания Microsoft) и Statistica (StatSoft).

В среде ArcMap 10.2 был создан ГИС-проект на изучаемую территорию и реки. Благодаря ему определены центры и средние высоты ($H_{ср}$) водосборов, замыкаемых гидрологическими постами. Они, в свою очередь, были использованы для построения зависимости M=f(Hcp), где M – это модуль годового стока. С помощью полученных зависимостей проводятся границы районов с однородным распределением стока с высотой (Магрицкий, 2014; Орлова, 2008; СП 33-101-2003), в нашем случае – модуля годового стока ($M_{ср}$, л/с×км^2). На последнем шаге построения карты на зависимом и независимом материале, в соответствии с методикой А.В. Христофорова, проверялась надежность карты и в случае критических ошибок вносились коррективы в положение и шаг изолиний. Ошибка карты стока на зависимом материале рассчитывается по формулам ΔS=уфакт-урасч и суммарная S*=1ni=1n[yi-yi,карт] 2.

Результаты

В колебаниях годового стока рек севера ДФО прослеживается чередование периодов различной водности, формирующих неявные и реже четкие циклы разной продолжительности (рис. 1).

В целом, согласно НРИК и хронологическим графикам $Q_{год}$, с годовым стоком произошли следующие изменения. На рубеже 1970–1980-х гг. почти на всех реках к западу от Верхоянского хр. произошел переход от среднего по водности периода к маловодному, у рек Яно-Индигирского р-на – к среднему по водности, у рек Колымского р-на – стремительная смена многоводного маловодным периодом. В конце 1980-х гг. на реках к западу от Верхоянского хребта и в середине – второй половине 1990-х гг. на реках Северо-Востока, когда на м/с зафиксирована вторая и более мощная "волна тепла", отмечено значительное увеличение $Q_{год}$. Увеличение стока было столь значительным, что привело к своеобразной "корытообразной" форме НРИК и появлению статистически значимых возрастающих трендов. В 2000-х гг. на реках западного сектора рост стока "остановился", и впоследствии на ряде рек (особенно на юге) сменился маловодным периодом, а на реках Северо-Востока многоводный период пока (по данным до 2014 г.) продолжается.

Синхронность в колебаниях $Q_{год}$ обнаружена у рек, протекающих в схожих климатических условиях, а также со схожим характером подстилающей поверхности. Коэффициенты парной корреляции 0,7 и выше соответствуют удалению между водосборами менее 750 км. Для некоторого количества постов средней полосы западной равнинной части сохраняется значимая корреляция и на внушительных расстояниях (до 1500 км). Анализ рядов на синхронность и синфазность колебаний $Q_{год}$, а также соображения по однотипности рельефа, климатических и ландшафтных условий, позволили выделить 12 гидрологически однородных районов, шесть из которых делятся еще на 2 и больше подрайонов (рис. 1). Предыдущее такое деление на существенно меньшем объеме данных выполнено авторами работ (Кузин, Бабкин, 1979; Ресурсы…, 1969, 1972) и не отвечает современным реалиям. Выделение районов необходимо для

оптимизации поиска рек-аналогов при расчетах стока на неизученных территориях, повышения их точности; для долгосрочного прогноза наступления фаз разной водности в районах со смещением в их наступлении, по отношению к асинфазным районам. Для каждого из выделенных районов и подрайонов были выбраны 1–2 опорных поста с максимально надежными и длительными наблюдениями. Анализ их данных позволил статистически проанализировать особенности и тенденции многолетних колебаний $Q_{год}$.

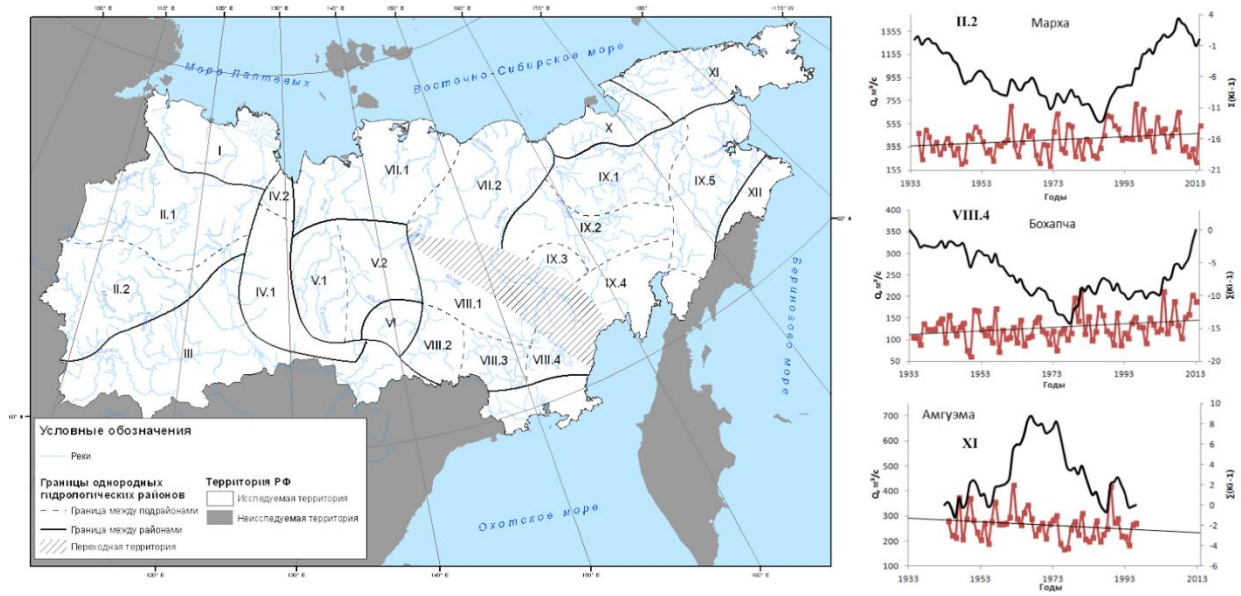


Рис. 1. Карта однородных гидрологических районов севера ДФО. Условные обозначения: I – Северо-западный район, II.1 – Оленекско-Анабарский подрайон, II.2 – Вилюйский подрайон, III – Юго-западный район, IV.1 – Горный северный,IV.2– Горный, V.1 – Янский подрайон, V.2 – Адыча-Чаркский подрайон, VI –Эльгинский район, VII.1 – Северный Яно-Индигирский,VII.2 – Алазейский подрайон, VIII.1 – Момско-Тасканский подрайон, VIII.2 – Сунтарский подрайон , VIII.3 – Верхнеколымский подрайон , VIII.4 – Бохапчинский подрайон ,IX.1 – Анюйский подрайон, IX.2 – Олойский подрайон, IX.3 – Коркодонский подрайон, IX.4 – Омолонский подрайон, IX.5 – Анадырский подрайон, X – Чаунский район, XI – Чукотский район, XII – Корякский район.

Всего в четырех подрайонах обнаружено нарушение стационарности по среднему, однако примерно у половины опорных постов наблюдается статистически значимое нарушение по дисперсии. В основном это характерно для рек, относящихся к южным территориям исследуемого региона. Это усложняет сами гидрологические расчеты и ухудшает точность оцениваемых параметров и теоретических кривых распределения вероятностей. Многолетние колебания $Q_{год}$ большинства рассматриваемых рек содержат возрастающий тренд. Появление данного тренда обусловлено климатически обусловленным изменением температурного режима и режима увлажнения данной территории. Также стоит упомянуть и глобальный фактор: аномалия роста температуры в полярных широтах начинается с 1980-х гг. Пространственная и временная структура изменений сумм осадков существенно более неоднородна по сравнению с температурой воздуха. Водохозяйственная деятельность, как свидетельствуют данные из (Magritskii, 2008), на сток воды рек региона и его межгодовую и многолетнюю изменчивость никак не влияет.

Критерий Андерсона для множества рек превышает критическое значение (1,96), что говорит о внутрирядной связности значений ряда. Однако для постов арктической зоны (за исключением поста Пур на р.Буур), гипотеза о независимости членов ряда верна.

Пространственные закономерности изменения годового стока рек по построенной Карте модуля годового стока, зависимостям вида M=f(Hср) для однородных по характеру

изменения $M_{ср}$ с высотой гористых районов. Кроме того, были первоначально были исключены так называемые «малые» реки, чей $M_{ср}$ изменяется с увеличением площади водосбора. Критическим значением площади, разграничивающим малые и средние реки, выбраны, по результатам построения эмпирических зависимостей вида M=f(F), 1000 км^2. Согласно карте, сток рек уменьшается в восточном направлении (до определенной долготы), к северу в Яно-Индигирском регионе, к Центрально-Якутской низменности (до 1 л/с км^2 и меньше) и резко, значительно возрастает в горных районах (до 10 л/с км^2 и больше). Ошибки новой карты стока в 1,5-3 раза меньше погрешностей определения $M_{ср}$ по карте из (Атлас…. 1986). Карта позволила уточнить приток речных вод в моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское, боковой приток в большие реки ниже замыкающего створа, который суммарно равен 1094 км^3/год.

Список литературы

Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. Л.: Гидрометеоиздат, 1986.

Болгов М.В., Коробкина Е.А. Закономерности многолетних колебаний годового стока рек Сибири и Дальнего Востока // География и природные ресурсы №2 М., 2011, 5-11 с.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1017 с..

Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 200 с.

Магрицкий Д.В. Речной сток и гидрологические расчеты. Практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ. М.: Издательство Триумф, 2014. 184 с.

Орлова Е.В., Определение географических и гидрографических характеристик водосбора с использованием ГИС-технологий: диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.27 — Санкт-Петербург, 2008 г., с.83.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индигирский район. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 652 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 19. Северо-Восток. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 315 с.

СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 74 с.

Magritskii D.V. Anthropogenic Impact on the Runoff of Russian Rivers Emptying into the Arctic Ocean // *Water Resources, 2008, Vol. 35, No. 1, pp. 1–14.*

The analysis of the climate change impact on the annual river runoff over the Russian Arctic Far Eastern sector

Karashova M. I.
Lomonosov Moscow State University
m.karash@yandex.ru

Abstract: This work is devoted to the identification the features of annual river flow long-term fluctuations, estimation of runoff parameters and cartographic visualization of its changes over the territory of Yakutia, the Magadan region and the Chukotsky Autonomous area. As input data we used the observations at 167 hydrological gauges for the entire period. In most cases, it was 50-60 years. However, there are posts with a duration of up to 90 years. Was formed the most comprehensive electronic array of the average monthly (Qm) and the average year (Qyr) discharges. As part of the study, were made complex investigation of the synchronicity trends and assessment of the annual water runoff common-phase oscillations. Basing on the coincidence of fluctuations with consideration of geographical and high-altitude features of the territory was carried out separation of the hydrologically homogeneous areas. In each of them was selected 2-3 reference hydrological gauges. For them was made estimation for the distribution parameters of the annual runoff medium-sized rivers. The estimation allowed to reveal analytical regularities on which basis were built cartographic map of the annual runoff and map of the changes with the height of the terrain over the territory of interest. Calculation of the river waters inflow to the Arctic seas and the estuaries of large rivers became possible due to runoff map. The total runoff value from the investigation area to the surrounding seas is about 1094 km³/yr. In addition, we involved data of Russian hydrometeorological network on monthly and annual air temperatures, corrected precipitation amounts to explain the causes of long-term changes in runoff and to allocate characteristic hydrological periods. The established regularities of long-term changes in the annual river water runoff are caused by regional climatic changes and, above all, air temperature and precipitation. Water management activities do not affect on the rivers runoff in the region and its interannual and long-term variability.

Keywords: Far North, annual river runoff, climate change, hydrological zonation, runoff map, statistical analysis, synchronicity, common-phase oscillation, inflow of river waters into the seas

Факторы и закономерности изменений стока и водного режима р. Урал

Магрицкий Д.В.[1], Школьный Д.И.[1], Юмина Н.М.[1], Кенжебаева А.Ж.[2]
[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
[2]Институт географии и природопользования МНК «Астана», Казахстан
aiymgul_92@bk.ru

Аннотация: Водный режим и сток р. Урала, его притоков заметно изменились. Происходило это поэтапно, под влиянием водохозяйственной деятельности и климатических изменений. Современный период отличает максимальная антропогенная нагрузка и серьезная трансформация климатических условий. В результате, настоящие водные ресурсы Урала меньше естественных на 21%. Уменьшились объем и максимальные расходы половодья, изменились его даты, снизились максимальные уровни, величина подъема, частота и глубина затопления поймы. Сток и расходы летне-осенней и зимней межени, наоборот, увеличились. Однако, дефицит пресноводных ресурсов в бассейне по-прежнему сохраняется; в будущем ожидается его обострение. Мало того, он приобрел новые формы из-за резкого ухудшения степени обводнения нерестилищ и пойменных угодий во время половодья.

Ключевые слова: Урал, сток, водный режим, антропогенные и климатические изменения

Введение

Трансграничную реку Урал отличает одна из самых высоких среди больших рек межгодовая и внутригодовая изменчивость стока, крайне неравномерное распределение в бассейне пресноводных ресурсов. В условиях засушливого климата на значительной части территории, огромных потребностей в чистой и пресной воде со стороны населения, промышленности, сельского и рыбного хозяйства это создает предпосылки для появления водного дефицита, причем не только в маловодные годы и гидрологические сезоны, но и, с учетом зарегулирования стока реки и отдельных ее притоков, во время весеннего половодья. Антропогенно уменьшенные сток и максимальные расходы воды половодья уже давно не обеспечивают требуемого обводнения и промывки нерестилищ, пойменных угодий, что формирует негативные экономические и экологические последствия. Проблему «водного стресса» дополняют угроза периодически случающихся речных и нагонных наводнений, интенсивные переформирования русла реки и дельтовых берегов, загрязнение и повышенная минерализация речных вод. В этих условиях недостаточно ограничиваться лишь гидрологическим мониторингом, констатацией сложившейся ситуации и т.п., необходимы идентификация факторов, понимание механизмов и закономерностей происходящих изменений, актуализированная оценка основных гидрологических характеристик и существующих между ними связей, создание готовых инструментов предвычисления, прогноза развития тех или иных гидрологических процессов. Недавние комплексные исследования авторов и количественная оценка климатических и антропогенных изменений стока, характеристик водного и ледового режима реки, русловых процессов, основных гидрологических опасностей и др., их пространственно-временных закономерностей и тенденций позволили получить новые научные и прикладные результаты, относящиеся как к бассейну и реке в целом, так и к той ее части, которая считается нижним течением, т.е. расположена в пределах Республики Казахстан.

Материалы и методы исследования

При решении задач исследования привлекались данные гидрометеорологического и водохозяйственного мониторинга. Сведения по срочным, средним суточным, месячным и годовым расходам и уровням воды, ледовым явлениям были отобраны за весь период наблюдений (вплоть до 2015 г.) по 18-ти гидрологическим постам (г/п), обустроенным как на самой р. Урал, так и на ее основных притоках. Источником данных стали соответствующие ежегодные и многолетние справочные издания; часть данных предоставлена Казгидрометом. Данные по искусственным заборам и сбросам речных и подземных вод, антропогенным изменениям речного стока и другим аспектам водохозяйственной деятельности получены из (Ресурсы, 1970; Родионов, 1977; Шикломанов, 1979; Григорьев, 1981; Государственный…, 1984–2014; Вуглинский, 1991; Демин, 2011). Анализ многолетней изменчивости величин приземной температуры воздуха и сумм атмосферных осадков проводился по данным метеостанций Росгидромета с портала ВНИГМИИ МЦД. В качестве опорных взяты 6 метеостанций. Использованы также ранее опубликованные результаты похожих исследований. Выполнен тщательный анализ исходной информации; получены выводы о причинах и характере содержащихся в них погрешностей.

Основными методами обработки и анализа исходных данных стали стандартные гидрологические расчеты, согласно СП 33-101-2003, и анализ рядов с применением статистических критериев при 5%-ном уровне значимости. Применен также метод руслового водного баланса для оценки водохозяйственных изменений речного стока и восстановления его условно-естественной величины. Построены разнообразные эмпирические зависимости, многочисленные хронологические графики, дана оценка их тесноты и достоверности. Был выполнен ряд специальных исследований, расчетов и построений. Во-первых, по среднесуточным расходам и уровням воды, характеру ледовых явлений на постах Кушум и Махамбет (Тополи) за каждый год определены даты начала и окончания половодья, летней-осенней и зимней межени, объемы стока в каждый из гидрологических сезонов. Использован синтез стандартной и оригинальной авторской методик. Во-вторых, установлены случаи заторообразования в низовьях Урала, произведена оценка параметров заторов льда и зажоров и, главное, заторного повышения уровня, его вклада в общее повышение уровня в реке во время половодья. В-третьих, с целью выяснения величины вертикальных русловых деформаций и их вклада в общее изменение уровня анализировались данные фактических гидрометрических измерений, сравнивались кривые расходов за каждый год. В-четвертых, создание действенного инструмента предвычисления характеристик половодья и затопления поймы в низовьях Урала потребовала расчета времени добегания при максимальных расходах воды разной обеспеченности, выявления участков выхода воды на пойму и границ затопления. Были использованы стандартный метод соответственных уровней, имеющиеся отметки русла, берегов и поймы, топографические и карты геолого-геоморфологического строения местности, материалы и инструменты GoogleEarth и др.

Результаты и их обсуждение

Климатические и антропогенные факторы изменений величины и режима стока р. Урала

Очень неравномерное распределение водного стока в бассейне Урала и во времени потребовали реализации во второй половине XX в. целого комплекса водохозяйственных мероприятий: создание многочисленных прудов и водохранилищ и, в частности, самого крупного на Урале Ириклинского водохранилища (с 1958 г.), сооружение большого числа водозаборов и водосбросных сооружений, каналов и обширной мелиоративной сети. Создание водохранилищ сопровождалось разовым и безвозвратным изъятием речных вод на заполнение мертвого объема, водонасыщение берегов и дна, а также ежегодными потерями стока на испарение. По приблизительным оценкам авторов, со всех

водохранилищ в бассейне Урала испаряется ~0,45 км^3 воды в год. Дополнительное испарение в 2-3 раза меньше (Шикломанов, 1979; Вуглинский, 1991). С другой стороны, регулирование максимального стока водохранилищами способствует ежегодному сокращению водопотерь в нижнем бьефе, сопоставимому с потерями на испарение. То есть негативное влияние водохранилищ на норму стока Урала в действительности не так велико, как принято думать. Но они заметно изменили гидрологический режим Урала и части его притоков. Другой источник мощного антропогенного воздействия – водопотребление. Суммарный водозабор, водоотведение и безвозвратное водопотребление в бассейне Урала достигли максимальных показателей в 1985-1990 гг. и составили 4,69, 2,31 и 2,38 км^3/год (Государственный..., 1981-2014). Сопоставляя эти величины с нормой стока, WMO это считает высокой нагрузкой на водные объекты, требующей искусственного регулирования предложения и спроса на воду. В 1999-2007 гг. полное и безвозвратное водопотребление составило 2,91 и 1,11 км^3/год (Демин, 2011). В целом, весь комплекс антропогенных факторов, включая дополнительное испарение с водохранилищ, обеспечил снижение годового стока реки на 2,44 км^3/год в 1985-1990 гг. (или ~20-21% естественного стока) и на 1,43 км^3/год в 1999-2013 гг. (или ~17%) (Магрицкий и др., 2018).

От серьезного водного кризиса пока спасает сравнительно благоприятный климатический фон (Магрицкий, Кенжебаева, 2017). Но, в будущем следует ожидать климатически обусловленного снижения общего речного стока (Магрицкий и др., 2018). В то же время масштабные гидрологические последствия климатических изменений (температуры воздуха в сезон формирования снежного покрова и соответственно будущего половодья, в сезон основных потерь на испарение, атмосферных осадков и др.) отчетливо видны уже с конца 1970-х гг. Их маркеры - гидрологические процессы на реках, не охваченных масштабной водохозяйственной деятельностью, и полученные авторами данные по условно-естественному стоку реки.

Сравнительный анализ климатических и гидрологических изменений в бассейне р. Урал, истории развития и масштабов водохозяйственной деятельности позволил авторам выделить три характерных периода с относительно однородными условиями формирования и транзита речного стока. Первый *период с условно-естественным водным режимом* реки, формированием и транзитом речного стока завершился, по сути, в 1957 г. с вводом в строй Ириклинского гидроузла. 1958–1977-е годы можно обозначить как *период зарегулированного стока* и нарастания антропогенной нагрузки на водные ресурсы р. Урал и ее притоков. *Современный период*, начало которого можно датировать 1978-м годом, отличает максимальная водохозяйственная нагрузка и статистически значимая трансформация климатических условий формирования стока.

Водные ресурсы бассейна и их многолетние изменения

Бассейн Урала можно разделить на зоны формирования и преимущественно потерь речного стока. Граница между ними пересекает реку ниже впадения в нее р. Барбастау. Ниже по течению Урал практически не имеет боковой приточности, и его сток постепенно уменьшается естественным и антропогенным образом. Согласно оценкам авторов, фактический ($W_ф$) и условно-естественный (W_{ye}) годовой сток воды р. Урал в начале бесприточного участка за более чем столетний период (1913–2014 гг.) равен 10,1 и ~11,1 км^3/год (Магрицкий и др., 2018). Из них ~95% поступает с территории РФ. К опорному посту в с. Кушум фактический сток р. Урал уменьшается на 4%, главным образом за счет оттока части вод в Кушумский канал. К г/п Тополи, Махамбет и Атырау $W_ф$ уменьшается в среднем на 11,2, 15,6 и 18,9%. На морском крае дельты $W_ф$≈7,79 км^3/год (или 77,1% первоначальной величины), а W_{ye}≈9,02 км^3/год (81,3%). Рассчитанные объемы стока способствуют ежегодному приращению уровня Каспия на 2–2,5 см. В естественных

условиях потери фактического стока на участке г. Уральск – море были меньше, чем в период максимальной антропогенной нагрузки.

С переходом от условно-естественного периода к последующим и особенно к третьему произошло, во-первых, статистически значимое снижение межгодовой изменчивости характеристик стока. Оно отмечено повсеместно, включая притоки и верховья р. Урал с сохранившимся условно-естественным режимом, но в большей мере – именно на зарегулированных участках русел. Зафиксировано изменение и остальных параметров кривых обеспеченностей. Во-вторых, различия в изменениях объема стока в немалой степени связаны с различиями в структуре и масштабах водопользования выше по течению. На зарегулированных участках Урала, на постах, замыкающих территории с масштабным водопотреблением, самым маловодным периодом был 1958–1977 гг. Но в 1978–2014 гг., несмотря на нарастание объемов водопотребления в бассейне и потерь на испарение, водность Урала вследствие увеличения осадков выросла. Рост обеспечили положительные тенденции в многолетнем ходе всех сезонных составляющих годового стока. Похожая ситуация наблюдалась на Сакмаре, за исключением 1958–1977 гг., водность которого, наоборот, была выше, чем в 1930–1957 гг. Причина – отсутствие масштабной водохозяйственной деятельности на водосборе этого притока. На равнинных и степных реках левобережной части бассейна рост в третий период если и был, то совсем незначительный. Стационарность рядов по среднему не нарушена, чего нельзя сказать о максимальных расходах воды в среднем и нижнем течении Урала, о меженном стоке зимы на многих постах.

Водный режим нижнего Урала и его изменения

Нижний участок р. Урал имеет тип водного режима близкий к казахстанскому. Основная фаза водного режима – весеннее половодье. Максимальные расходы ($Q_{макс}$) и уровни ($H_{макс}$) половодья наибольшие за год. Исключение составляет лишь нижняя часть устьевого участка в зоне сильного влияния штормовых нагонов. В естественных условиях половодье начиналось в среднем 6 апреля и завершалось 23 июля, длилось 110 (на верхней границе участка) и 116 сут. (в устье). В течение него проходило ~84% годового ($W_{год}$) стока, или 8,56 км^3 (с. Кушум) Поэтому неудивительно, что между $W_{пол}$ и $W_{год}$, $Q_{макс}$ и $W_{пол}$ и другими существовали на тот момент довольно тесные связи, функционально хорошо описываемые. К третьему периоду объем стока половодья сократился до 6,68 на г/п Кушум и 5,61 км^3 на г/п Махамбет; его доля в годовом стоке снизилась до 70%; в 2,2 и 1,7 раз уменьшились $Q_{макс}$; начало и окончание половодья сместились на более ранние даты (примерно на 5-9 дней); изменились параметры кривых обеспеченностей $W_{пол}$ и $Q_{макс}$, в целом, форма гидрографа половодья. "Слом" произошел с началом работы Ириклинского гидроузла, а окончательный – в середине 1970-х гг. Поменялся характер связей между параметрами половодья и годового стока, ухудшилась их теснота. Между $Q_{макс}$ разных постов вид зависимости почти не поменялся.

Максимальные уровни во время половодья ($H_{макс}$) также уменьшились, но, как установлено, несущественно. Главная причина – особый характер связи между максимальными расходами и уровнями воды в области больших значений. Другие факторы – активные вертикальные русловые деформации, а в устье реки – крупномасштабные колебания уровня Каспийского моря и создаваемый ими подпор в реку (Устья рек..., 2013). Величина заторного повышения уровня в среднем не превышает 10% общей величины подъема (г/п Кушум), хотя может быть значительной. Заторная составляющая не участвует в формировании $H_{макс}$, поскольку все заторы случались только на подъеме половодья и ни одного на пике. Но выше с. Кушум они могут вызывать наводнения. Так было весной 2011 г. В целом, $H_{макс}$ и величина подъема уменьшились на 0,5 и 0,4 м (г/п Кушум), средняя и максимальная интенсивность подъема – на 6 и 23 см/сут. На верхней границе устья (г/п Тополи/Махамбет) величина подъема уменьшилась на 0,8 м, средняя и максимальная интенсивность – на 7 и 23 см/сут. Уменьшилось число случаев

выхода воды на пойму (с 34 до 16% на участке поста Кушум) и превышения отметок НЯ (с 15 до 6%), ОЯ (с 7% почти до 0), максимальная глубина затопления поймы (с 2,35 до 1,87 м). Практически прекратился выход воды на пойму в районе постов Мергенево, Калмыково. То есть опасность наводнений кардинально сократилась, если не учитывать потенциальную угрозу техногенных наводнений из-за прорыва плотин водохранилищ. Изменился характер многих эмпирических зависимостей, тем не менее не помешавший авторам создать эффективную систему предвычисления (для разных створов нижнего Урала) различных гидрологических характеристик, момента и скорости их достижения по их величинам на постах Оренбург, Уральск и Кушум.

Антропогенные и климатические факторы изменили также параметры летне-осенней и зимней межени. Продолжительность первой и объем стока увеличились на 14 и 17 сут, 0,62 и 0,47 км^3. Выросли минимальные расходы и уровни воды. Продолжительность и сток зимней межени, наоборот, уменьшились.

Выводы

«Водный стресс», который испытывает хозяйственный комплекс бассейна р. Урал и уникальные экосистемы Урало-Каспийского региона, водохозяйственные трансграничные проблемы требуют достоверных данных по современной ситуации с речным стоком, особенностям, закономерностям и, главное, причинам изменчивости характеристик стока, водного режима по территории и во времени, их актуализированных оценок, инструментов для их прогноза и предвычисления. Несмотря на сложность многолетнего и годового режима р. Урал и его притоков, многообразие факторов, которые его регулируют, собранные данные, результаты их обработки и всестороннего анализа, инновационные методики позволили эти особенности и закономерности идентифицировать и получить необходимые научно-прикладные результаты.

Исследования выполнены за счет гранта РНФ №14-17-00155.

Список литературы

Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометиздат, 1991. 223 с.

Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. Л. - СПб. - М., 1981–2014.

Григорьев О.М. Оценка влияния промышленно-коммунального водопотребления на сток р. Урал // Тр. ГГИ. 1981. Вып. 273. С. 45–61.

Демин А.П. Использование водных ресурсов России: современное состояние и перспективные оценки. Автореф. дис. …докт. геогр. н. М., 2011. 51 с.

Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р.Урал // Наука. Техника. Технология (политехнический вестник). 2017. №3. С.39–61.

Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова Г.С. Изменения стока в бассейне р.Урал // Вестн. Моск. Ун-та. Сер.5. География. 2018. №1. С.90–101.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометиздат, 1970. Т. 12. Вып. 2. 512 с.

Родионов В.З. Влияние хозяйственной деятельности на сток р.Урала // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 239. С. 109–122.

Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления. М.: ГЕОС, 2013. 703 с.

Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометиздат, 1979. 302 с.

Factors and regularities of the Ural river's flow and water regime changes

Magritsky D.V.[1], Shkolnyi D.I.[1], Yumina N.M.[1], Kenzhebayeva A.Zh.[2]
[1]M.V. Lomonosov Moscow State University
[2]Institute of Geography and Environmental Research of ISC "Astana", Kazakhstan
aiymgul_92@bk.ru

Abstract: Water regime and flow of the Ural River and its tributaries have been changed significantly. It happened in stages, influenced by water-related activities and climatic changes. Recent period is distinguished by maximal load and major changes of climatic conditions. As a consequence, current water resources of the Ural are less by 21 per cent than the natural ones. The flood's volume and water discharge have been decreased, its dates have been changed, the maximal water level, the rise value, the frequency and depth of flood-plain inundation have been declined. On the contrary, the flow and water discharge of summer-autumn and winter low-water have been increased. However, the shortage of the fresh-water resources persists; its aggravation is expected to be in the future. Besides, it was transformed because of dramatic deterioration of the spawning grounds' and flood-plain lands' water supply rate during flood.

Keywords: Ural, flow, water regime, anthropogenic and climatic changes.

Паводочный сток на реках Европейской территории России и его роль в формировании современного водного режима

***Киреева М.Б.*[1], Рец Е.П.[2], Фролова Н.Л.[1], Езерова Н.Н.[1]**
[1]*Географический факультет МГУ*
[2]*Институт Водных Проблем РАН*
Kireeva_mb@Mail.ru

Аннотация: Современные изменения водного режима рек к настоящему моменту являются неоспоримым фактом. Основная тенденция, которая характерна для большинства рек Европейской территории России, заключается в «выравнивании» годового гидрографа стока. Это приводит к сокращению стока весенних месяцев, связанному с перехватом части талой воды оттепельными паводками. Одновременно с этим процессом наблюдается увеличение стока в маловодные периоды года – во время летнее-осенней и, особенно, зимней межени. Сокращение глубины промерзания почвы, связанное с более мягкими зимами, приводит к увеличению питания грунтовых вод за счет талого оттепельного стока. Одновременно потери стока на поверхностное задержание и испарение в течение зимнего и особенно весеннего периода – увеличиваются. В работе проведен комплексный анализ генетических компонентов стока, основанный на результатах расчета и расчленения гидрографа с помощью алогритма GrWat. Практически для всех сезонов, особенно в западной части Русской равнины, наблюдается рост числа паводочных пиков. Они накладываются на волну подъема и спада половодья, делая его выделение как отдельной фазы водного режима в отдельные годы практически невозможным. Аналогичная ситуация прослеживается и для зимней межени, особенно для рек западной части Русской равнины, где в последние два десятилетия она практически не формируется. В течение всей зимы сток рек повышен, гидрограф имеет пиолообразную форму, связанную с выпадением осадков в смешанной или жидкой фазе. Все чаще на реках наблюдается явление зимнего ледохода, обусловленное также повышенным стоком и частыми оттепелями. Данные тенденции в меньшей степени наблюдаются на севере и северо-востоке Русской равнины. Существенная трансформация водного режима за счет паводочного стока выражена в бассейнах Дона и Оки.

Ключевые слова: Паводки, паводочный сток, речной сток, трансформация водного режима

Введение

Реки Европейской территории России относятся к рекам с Восточно-Европейским типом водного режима. Для них свойственно прохождение более 50 % годового стока за период весеннего половодья. За последние 30 лет водный режим рек данной территории претерпел серьезные изменения (Водные ресурсы России…, 2008, Методы оценки…, 2012), обусловленные в большей мере климатическими факторами. В мировой литературе встречается множество исследований современных изменений гидрологических характеристик и водного режима, начиная от масштаба отдельного речного бассена до глобальных обобщений. Часть исследований обнаруживает статистически значимые связи происходящих с трендами характеристик атмосферных осадков и температуры воздуха. Общей тенденцией считается интенсификация гидрологического цикла и учащением экстремальных ситуаций связанных с повышенной и пониженной водностью (Watson et al, 1997, Douglas et al, 2000). Анализ метеорологических данных за последние десятилетия свидетельствует, что этот период был не только самым тёплым, но и самым влажным за

время инструментальных наблюдений. Важным следствием увеличения числа, продолжительности и «глубины» оттепелей служит рост потерь талого стока и повышенное питание подземных вод. За счёт этого возрастает роль паводочного стока, особенно в зимний период. Основной целью работы является определить роль паводочного стока в изменении водного режима под влиянием климатических факторов. Для выполнения этой цели необходимо выявить изменения характеристик паводков в различные сезоны года, провести анализ и статистическую оценку этих изменений в различных природных регионах, проследить влияние изменений паводочного стока на другие характеристики водного режима, а также проанализировать изменения соотношений характерных расходов воды.

Материалы и методы

Для отработки технологии расчленения гидрографа и анализа характеристик паводочного стока было выбрано 35 гидрологических постов, расположенных в различных природных условиях и природных зонах Европейской территории России. Они отражают процессы зонального формирования стока, кроме того была привлечена информация по крупным бассейнам, сток которых может отражать тенденции в крупных географических регионах. Для отобранных створов были подготовлены исходные суточные данные о расходах воды за период 1945 -2015 гг.

Для решения поставленных задач анализа паводочного стока необходимо было разработать алгоритм (названный GrWat), который, учитывая особенности каждой конкретной реки, правильно отделял на гидрографе подземную составляющую, весеннее половодье и дождевые паводки. В качестве основы была выбрана методика расчленения гидрографа Б. И. Куделина (Куделин, 1967), которая в упрощенном виде сводиться к следующими принципам:

1. Во время прохождения максимального расхода воды подземное питание реки (в случае полной гидравлической связи с грунтовыми горизонтами) равняется нулю.
2. Уменьшение подземного питания начинает происходить во время подъема половодья. В этот период начинает работать обратная гидравлическая связь: вода из реки начинает поступать в грунтовые горизонты (береговое регулирование)
3. После прохождения половодья грунтовое питание повышенно и постепенно убывает по экспоненциальному закону
4. При прохождении паводков дождевой сток не снижает подземное питание, а увеличивает его. Отчленение паводков в межень происходит по хорде от точки резкого увеличение расходов воды до точки перегиба (снижения расходов воды). Отчленение паводков на спаде и подъеме половодья происходит по экспоненциальному закону.

Программа GrWat делит суточные расходы воды на водохозяйственные годы – каждый такой год считается от начала половодья текущего календарного года до начала половодья следующего. Для математического описания индивидуальных особенностей стока каждой реки были введены 12 калибруемых параметров, графоаналитически описывающих вариации гидрографа, которые включают в себя характеристики градиентов роста и снижения расходов воды, типовые границы сезонов и их критические продолжительности. Позднее к ним были добавлены еще 12 дополнительных параметров, отвечающих за интерпретацию паводочных пиков (дождевой, оттепельный, смешанный) с учетом привлекаемой метеорологической информации. В качестве входной метеорологической информации использовались псеводвременные ряды метеорологических величин – осредненные по бассейну значения суточного количества осадков и температуры воздуха. Характеристики были получены с помощью блока подготовки входных данных путем осреднения данных реанализа NOAA-CIRES по выделенным водосборам с буферной зоной для захвата точек в 50 км.

Для всех створов были выполнены тестовые калибровки параметров, на основе которых было проведено предварительное районирование параметров. В итоге в качестве калибруемых параметров для рек различных природных зон ЕТР были приняты следующие величины (табл. 1). В таблице приводятся только те параметры, которые изменялись в зависимости от особенностей водного режима гидрологического поста.

Из таблицы видно, что для большинства параметров отвечающих за выделение половодий (grad1, kdQgr1, polmon(1), polmon(2)) увеличиваются с юга на север. Сильно изменяется параметр kdQgr1, отвечающий за возможный рост грунтовой составляющей. Для лесостепной зоны наблюдаются более низкие значения polgrad(1) и polgrad(2).

Табл. 1. Принятые значения основных калибруемых параметров для ключевых створов в различных природных зонах Европейской территории России

Основной параметр	р.Вятка-г.Вятские Поляны	р.Мокша- г. Темников	р.Ока-г.Калуга	р.Ока-г.Муром	р.Угра - пгт. Товарково	р.Самара - с.Елшанка	р.Дон - ст-ца Казанская	р.Медведица - ст-ца Арчединская	Р.Печора – с.Усть-Цильма	р.Северная Двина - с.Усть-Пинега
grad	1	1	0.8	0.5	0.6	1	0.4	1.5	0.3	0.5
grad1	1.7	1.7	1.15	1.15	1.4	3.5	0.6	2	6	5
kdQgr1	350	500	450	450	350	350	150	150	1000	800
polmon(1)	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3
polmon(2)	5	5	6	6	6	6	5	5	8	8
polkol(1)	8	6	5	5	8	8	8	15	10	10
polkol(2)	15	15	8	10	15	15	25	25	15	15
polgrad(1)	10	7	8	8	10	10	5	7	10	10
polgrad(2)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	6	1.5	1.5
Pcr	20	20	20	20	20	20	30	30	10	10
Tzam	-10	-20	-15	-10	-10	-10	-30	-30	-20	-20
Twin	-2	-2	-1.5	-2	-1	-2	-1.5	-1	-2	-2
SignDelta	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.15	0.15	0.15	0.15
PavRate	0.001	0.001	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001

Результаты

Результаты расчётов подтвердили ряд полученных ранее выводов об изменении и трансформации водного режима рек ЕТР и показали, что в последние 30 лет в средней и южной полосах Европейской территории России – в бассейнах Волги, Оки, Вятки, Дона – наблюдается снижение объёмов половодья, рост меженных расходов воды и увеличение доли паводочного стока в годовом. Кроме того, наблюдается явная тенденция к увеличению зимнего стока.

После середины 1970-х годов на гидрографах отчётливо видна трансформация внутригодового распределения речного стока. Отличительной чертой данной трансформации являются сдвиги в область более ранних значений не только дат начала половодья, но и минимальных расходов стока за период зимней межени. Эта тенденция характерна даже для такого северного створа, как р.Печора – с.Усть-Цильма, на котором не наблюдается значимых изменений в перестройке водного режима. В течение последних

лет на большинстве рек происходит интенсивное сокращение соотношения объемов и максимальных расходов половодья по отношению к соответствующим объемам грунтовой составляющей. Если до 1978 года объемы воды, проходящие за половодья, значительно превышали объем подземной составляющей за год, то в последние тридцать лет эти величины даже для крупных бассейнов становятся сопоставимыми или доля последних начинает преобладать. Характер этих изменений не является линейным, скорее, его можно описать некоторой периодичностью в изменение стока, наложенной на положительный тренд. Основная причина роста минимальных расходов воды связана скорее всего с увеличением числа, интенсивности и продолжительности оттепелей.

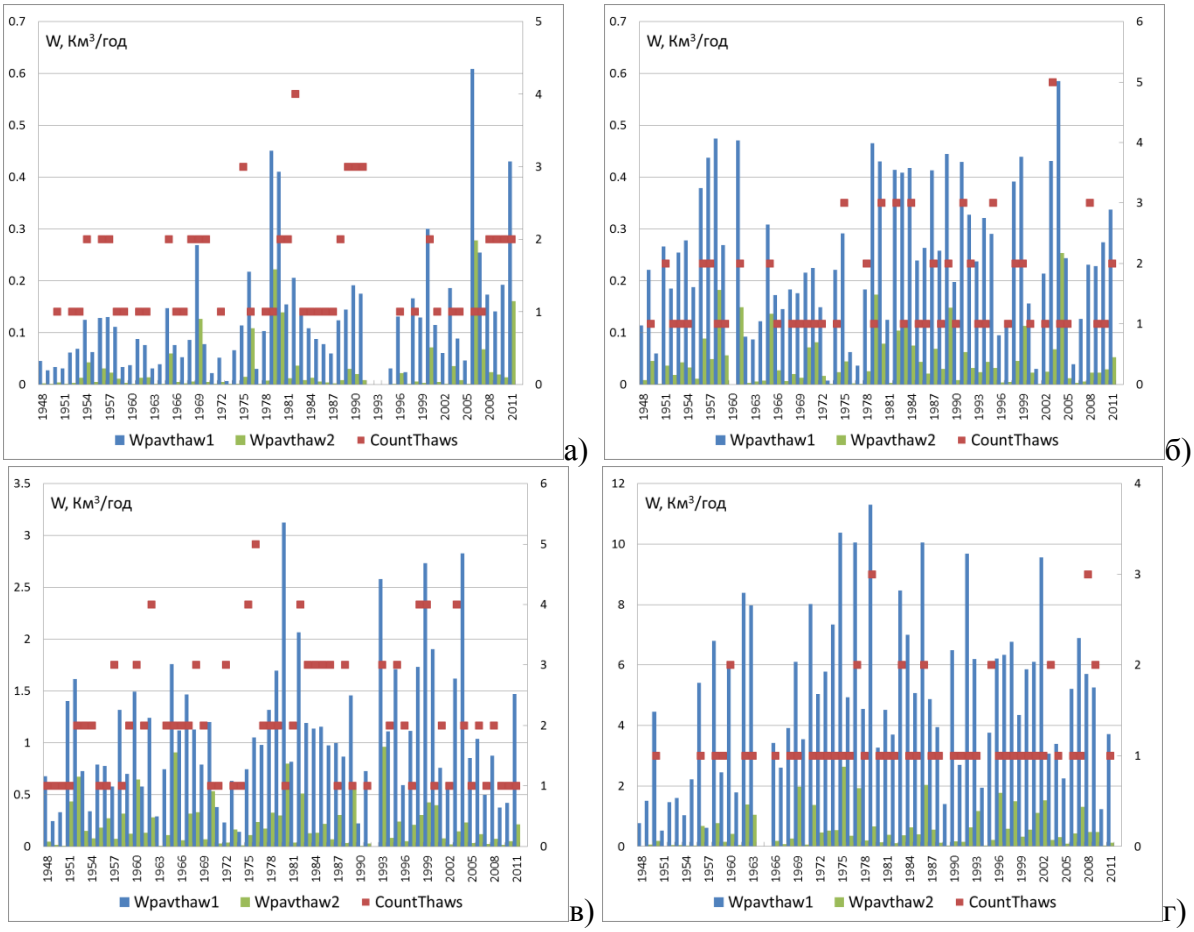


Рис. 1 Изменение величины талого стока за зимний период на примере бассейна р.Ока: а) р.Мокша – г. Темников, б) р.Угра – пгт. Товарково в) р.Дон – ст-ца Казанская, г) р.Печора – с.Усть-Цильма

При оценке вклада оттепельных паводков в увеличение стока стоит рассматривать две характеристики. Значения объема стока оттепельных паводков без учета грунтовой составляющей (зеленые столбцы на рисунке 1) отражают тот объем воды, который относительно быстро поступает в русловую сеть в результате таяния снега во время оттепелей и выпадающих жидких осадков в период их прохождения. Значения же с учетом грунтовой составляющей (синие столбцы на рисунке 1) включают в себя, от части, талый сток, поступающий в русло реки уже в качестве подземной составляющей, и с другой стороны, зависят от водности предшествующего периода. Для обеих характеристик характерна так же некоторая цикличность в изменение с ярко выраженным увеличением в конце 1970х г. Для ряда гидрологических постов прослеживается тенденция в увеличение числа оттепелей за период после 1978 относительно предшествующего периода.

Выводы

Проведеныне расчеты показали, что снижение стока половодья происходит на фоне увеличения минимального зимнего стока, происходящего в основном за счёт зимних паводков, объём которых на большинстве рек увеличивается на 20 – 30 %. Практически для всех сезонов, особенно в западной части Русской равнины, наблюдается рост числа паводочных пиков. Они накладываются на волну подъема и спада половодья, делая его выделение как отдельной фазы водного режима в отдельные годы практически невозможным. Аналогичная ситуация прослеживается и для зимней межени, особенно для рек западной части Русской равнины, где в последние два десятилетия она практически не формируется. В течение всей зимы сток рек повышен, гидрограф имеет пиолообразную форму, связанную с выпадением осадков в смешанной или жидкой фазе. Данные тенденции в меньшей степени наблюдаются на севере и северо-востоке Русской равнины. Существенная трансформация водного режима за счет паводочного стока выражена в бассейнах Дона и Оки. Таким образом, некоторые реки ЕТР по классификации Б. Д. Зайкова с трудом можно относить к рекам с Восточно-Европейским типом водного режима, поскольку сток весеннего половодья составляет менее 50 % годового стока.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-35-60080 в части методологических подходов, алгоритмов и программного обеспечения, гранта РФФИ № 17-05-41030 рго_а в части концептуального анализа и картографирования

Список литературы

Водные ресурсы России и их использование (под ред. Шикломанова А.И.) СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008, 600 с.

Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем (под ред. Семенова С.М.) М.: Росгидромет, 2012, 506 с.

Watson RT, Zinyowera MC, Moss RH (eds) (1998) The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge

Douglas, E. M., Vogel, R. M., Kroll, C. N., 2000, Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation.// J. Hydrol., Vol. 240 (1-2), pp. 90–105.

The occasional floods on the rivers of the European territory of Russia and its role in the formation of the modern water regime

***Kireeva M.B.*[1], Rets E.P.[2], Frolova N.L. [1], Ezerova N.N.[1]**
[1]*Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University*
[2]*Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences*
Kireeva_mb@Mail.ru

Abstract: Modern changes in the water regime of rivers are by now an evident fact. The main trend, which is typical for the most of the rivers in the European territory of Russia, is the "leveling" of the annual hydrograph. This leads to a reduction in the flow of spring months associated with the interception of part of melt water by thawing floods. Simultaneously with this process, an increase in runoff is observed in the low flow - during the summer-autumn and, especially, the winter period. Reducing the depth of freezing of the soil, associated with mild winters, leads to an increase of groundwater nourishment due to infiltration. Simultaneously, the loss of runoff to surface retention and evaporation during the winter and especially in the spring period is increasing. A comprehensive analysis of the genetic components of runoff based on the results of hydrograph separation with the help of GrWat alogrithm has been carried out. Almost all seasons, especially in the western part of the Russian Plain, there is an increase in the number of flood peaks. They are superimposed on the main wave of spring (regular) flood, making it separation in some years practically impossible. A similar situation can be traced for winter low flow period, especially for the rivers of the western part of the Russian Plain, where it has been practically not formed in the last two decades. Throughout the winter, river runoff is increased, the hydrograph has a “piolo” – like shape, associated with precipitation in the mixed or liquid phase. The phenomenon of winter ice drift is observed on the rivers more and more often, due to increased run-off and frequent thaws. These trends are to a lesser extent observed in the North and North-East of the Russian Plain. Significant transformation of the water regime due to the flow of water is expressed in the Don and Oka basins.

Keywords: Occasional floods, flood runoff, river runoff, water regime transformation

Особенности твердого стока р. Дон в современный маловодный период

Клещенков А.В.
Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук
geo@ssc-ras.ru

Аннотация: Количественно оценен объем твердого стока Дона в маловодный период. Современный маловодный период характеризуется значительным сокращением стока взвешенных наносов по сравнению с предыдущими годами и изменением его сезонного распределения. На фоне значительного (на уровне исторических минимумов) сокращения жидкого стока Дона происходит трансформация твердого стока. Она выражается в контрастном изменении количества взвешенных и влекомых наносов и их расходов по сравнению с периодами условно-естественного и зарегулированного режимов. Установлено существенное влияние зарегулирования стока р. Дон на сокращение поступления взвешенных веществ в устьевую область. И если в целом сокращение годового стока взвесей в створе ст. Раздорской в период зарегулированного стока относительно периода условно-естественного стока составило более 45% (с 3,94 до 2,16 млн.т/год), то такое же сокращение применительно к маловодным годам соответствующих периодов составляет 77% (с 2,41 до 0,56 млн.т), а к современному периоду 94% (с 2,41 до 0,15 млн.т).

Ключевые слова: Сток, взвешенные наносы, Дон, маловодье, Цимлянское водохранилище.

Введение

Климат цикличен. На протяжении XX-XXI вв. выделяют несколько циклов, или групп маловодных и многоводных лет, различающихся по продолжительности и степени отклонения водности реки от средней величины за весь период (Матишов и др., 2008; Клещенков и Сорокина, 2016; Киреева и др., 2017). Наименьших значений сток р. Дон достигал в 1972 – 1975 гг. (9,5 км^3 в 1972 г.) и в 2015 году (9,3 км^3). Современный маловодный период, начавшийся в 2007 году, является самым продолжительным из всех ранее зафиксированных инструментальными наблюдениями.

Многолетние долговременные фазы изменения речного стока приурочены к соответствующим фазам изменения температуры воздуха и атмосферных осадков. В последние десятилетие (2008-2015) в бассейне Дона происходит потепление зимнего периода (рост средних зимних температур) и увеличение суммы осадков за холодный сезон. Причина изменений водного режима и возникновения маловодья - изменение глобальной циркуляции атмосферы, увеличение числа оттепелей и снижение глубины промерзания почвы, что способствует пополнению запасов грунтовых вод в зимний период и росту подземного питания рек. В результате климатических изменений происходит сокращение слоя стока за половодье на 30-40%, а модуля стока на 40-60% (Джамалов и др., 2013).

Сокращение стока слоя за половодье и фактическое отсутствие дружного весеннего половодья ведет к изменению количества твердого вещества, поступающего в р.Дон и Азовское море. Кроме того, на фоне значительного (на уровне исторических минимумов) сокращения жидкого стока Дона происходит трансформация твердого стока. Она выражается в контрастном изменении количества взвешенных и влекомых наносов и их расходов по сравнению с периодами условно-естественного и зарегулированного режимов.

Материалы и методы

Для оценки произошедших изменений нами был выполнен анализ данных о расходах воды, мутности потока и расходах наносов на двух постах: выше Цимлянского водохранилища на посту в ст.Новогригорьевской и в вершине устьевой области Дона на гидропосту в ст. Раздорская за период с 2010 по 2014 год. Были использованы данные, опубликованные в гидрологических ежегодниках. Статистическая обработка проводилась с помощью стандартных пакетов Statistica и Exel.

Результаты

Среднегодовые расходы воды на посту в ст.Новогригорьевской за исследуемый период изменялись в диапазоне от 365 до 651 $м^3/с$, на посту в ст.Раздорской составили 414-550 $м^3/с$, что в целом характерно для всего маловодного периода 2007-2017 годов. Наименьшие расходы воды в период 2010-2014 гг. на обоих постах были зафиксированы в 2011 году, вместе с тем именно на этот год приходится пик мутности и расхода наносов.

Внутригодовое распределение стока наносов на посту в ст.Новогригорьевском характерно для реки с четко выраженным весенним половодьем. Максимум приходится на май и апрель (84% годового стока наносов). Такое же сезонное распределение твердого стока было характерно и для р.Дон в ст.Раздорской в период бытового режима стока (1933-1940, 1944-1951 гг.), когда 92% наносов выносились на устьевое взморье Дона в короткий период половодья. Однако уже в период 1954-1976 гг. после зарегулирования Дона Цимлянским водохранилищем относительная доля весеннего стока взвесей здесь сократилась до 79%. Одновременно сток наносов в летне-осеннюю и зимнюю межень увеличился соответственно с 6 до 11% и от 2 до 10% (Матишов и др., 2008; Бронфман и Хлебников, 1985), но в целом, картина весеннего максимума стока наносов сохранялась.

Анализ данных 2010-2014 годов в ст.Раздорской демонстрирует кардинальную перестройку сезонного хода, обусловленную усилением регулирующего влияния на сток реки Дон Цимлянского водохранилища, выразившегося в нивелировании половодья в гидрографе реки. Максимумы во внутригодовом распределении твердого стока в современный период приходятся на летнюю и зимнюю межень. На период с июня по август приходится 40% годового стока наносов, в то время как на период с марта по май всего 20%.

В связи с тем, что сток Дона характеризуется циклическими колебаниями водности, представилось корректным сравнить маловодные периоды условно-естественного режима стока до строительства Цимлянской плотины, зарегулированного режима и современный период.

Данные, представленные в таблице четко демонстрируют существенное влияние зарегулирования стока р. Дон на сокращение поступления взвешенных веществ в устьевую область. И если, как отмечалось выше, в целом сокращение годового твердого стока в створе ст. Раздорской в период зарегулированного стока относительно периода условно-естественного стока составило более 45% (с 3,94 до 2,16 млн.т/год) (Бронфман и Хлебников, 1985), то такое же сокращение применительно к маловодным годам соответствующих периодов составляет 77% (с 2,41 до 0,56 млн.т), а к современному периоду 94% (с 2,41 до 0,15 млн.т).

Помимо непосредственной аккумуляции взвешенных наносов в чаше Цимлянского водохранилища, сокращению стока взвесей р. Дон способствовало также резкое уменьшение расходов, а, следовательно, и транспортирующей способности реки в весенний период, т.е. в период поступления в русло основной массы продуктов механической денудации водосбора.

Результирующее влияние зарегулирования стока значительно изменило положение кривых, апроксимирующих зависимость расходов воды и взвешенных наносов в сравниваемые маловодные периоды, что представлено на рисунке ниже. Наблюдается

закономерное смещение этой кривой вниз в современный период и сокращение стока наносов при равных расходах.

Табл.1. Среднегодовые расходы (Q) и сток взвешенных наносов (R) р.Дон у ст. Раздорская в маловодные периоды

Год	Q, м³/с	R, кг/с	R, млн.	Год	Q, м³/с	R, кг/с	R, млн.	Год	Q, м³/с	R, кг/с	R, млн.
Условно-естественный режим				Зарегулированный режим				Современный период			
1938	492	89	2,81	1972	300	10	0,32	2010	550	1,6	0,05
1944	555	67	2,14	1973	376	13	0,41	2011	414	10,5	0,33
1945	608	106	3,34	1974	540	29	0,91	2012	513	5,1	0,16
1949	433	65	2,05	1975	357	10	0,31	2013	496	3,4	0,11
1950	373	53	1,7	1976	374	26	0,82	2014	461	2,5	0,08
Среднее			**2,41**				**0,56**				**0,15**

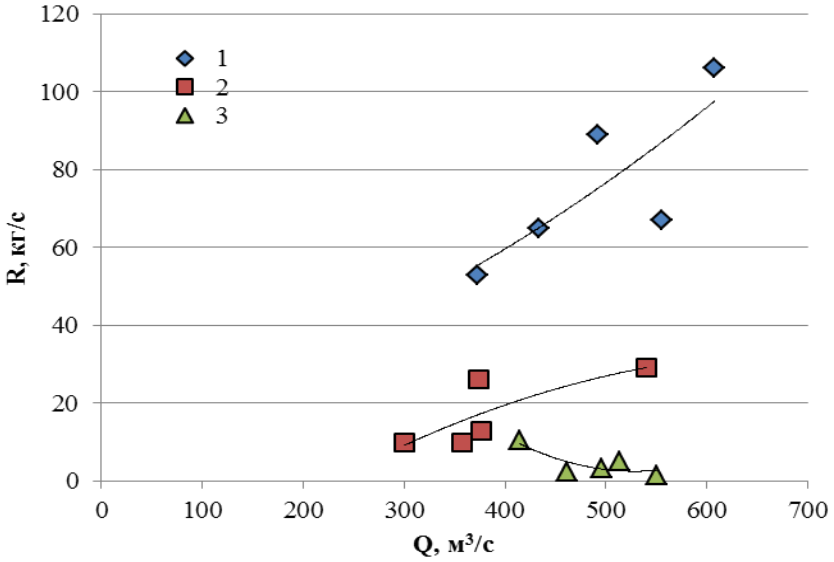


Рис. 1 Зависимость расходов воды (Q) и взвешенных наносов (R) для р.Дон в ст.Раздорской за маловодные годы условно-естественного режима стока (1), зарегулированного режима стока (2) и в современный период (3).

Выводы

Таким образом, современный маловодный период характеризуется значительным сокращением стока взвешенных наносов по сравнению с предыдущими годами и изменением его сезонного распределения. Во многом, это обусловлено тем фактом, что в настоящее время Нижний Дон представляет собой зарегулированную речную систему, состоящую из русловых водохранилищ, приуроченных к гидроузлам воднотранспортной системы и отдельных участков естественного русла. Помимо осаждения взвеси в русловых водохранилищах, существенная ее часть теряется в результате сильного зарегулирования местного стока локальными гидротехническими сооружениями на малых водотоках (Климат…, 2016), широкого развития противоэрозионных мероприятий на водосборе, а также в процессе водоподготовительных мероприятий при использовании стока р. Дон в промышленности, теплонергетике и коммунальном хозяйстве, кроме того значительную роль играет заметное снижение стока половодья. В начале 1980-х гг. А.М. Бронфман и В.П, Хлебников (Бронфман и Хлебников, 1985) сделали прогноз, что после введения в строй Николаевского и Константиновского гидроузлов и с учетом

планируемого хозяйственного использования речных вод, сток взвешенных наносов Дона в Азовское море не превысит в среднем 0,3-0,5 млн.т., т.е.окажется ниже бытового в 8-13 раз. По факту же в современный маловодный период твердый сток Дона в Азовское море составляет 0,15 млн.т (без учета осаждения в дельте), что ниже бытового в 23-26 раз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Русского географического общества (проект №17-05-41145-РГО_а «Изучение трансформации среды и биоты Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона в условиях изменения климата»).

Список литературы

Бронфман А.М., Хлебников Е.П. Азовское море. Основы реконструкции. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. 269 с.

Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Киреева М. Б. Современные изменения водного режима бассейна Дона // *Водные ресурсы*, 2013, Т.40, №6, С.544-556.

Киреева М.Б., Илич В.П., Фролова Н.Л., Харламов М.А., Сазонов А.А., Михайлюкова П.*Г*. Вклад климатических и антропогенных факторов в формирование маловодного периода в бассейне р.Дон в 2007-2015 гг. // *Геориск*, "2017, № 4, С.18-25.

Клещенков А.В., Сорокина В.В. Перераспределение стока по рукавам дельты Дона в условиях маловодья // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии материалы международной научной конференции и молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова. Ростов-на-Дону, 2016. С. 102-105.

Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики. Доклад на расширенном заседании Президиума Южного научного центра РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.) / Г.Г. Матишов. Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2016. 64 с.

Матишов Д.Г., Пряхина Г.В., Федорова И.В., Сорокина В.В. Современный сток воды и наносов в дельте реки Дон (по результатам экспедиционных исследований). // *Вестник южного научного центра РАН*.–2008.– Т.4.– №3.– С. 72-77.

The features of solid runoff of the river Don in modern low-flow period

Kleshchenkov A.V.
Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences
geo@ssc-ras.ru

Abstract: The volume of solid runoff of the river Don in the low-flow period is quantified. The current low-flow period is characterized by a significant reduction in the flow of suspended load compared to previous years and changes in its seasonal distribution. Against the background of a significant (at the level of historical lows) reduction in the liquid flow of the don, a transformation of solid flow takes place. It is expressed in contrast to the change in the number of suspended load and bed load and their flows compared to the periods of conditional natural and overregulated regimes. A significant effect of regulating the flow of the river Don to reduce inputs of suspended loads in through the mouth area. And if in general the reduction of annual runoff of suspensions in the range of Razdorskaya station in the period of regulated runoff relative to the period of conditional natural runoff was more than 45% (from 3.94 to 2.16 million tons/year), the same reduction in relation to low-flow years of the respective periods is 77% (from 2.41 to 0.56 million tons).

Keywords: Runoff, suspended load, Don, low-flow period, Tsimlyansk reservoir

Эоловые озера Селенгинского среднегорья

***Кобылкин Д.В.*, Голубцов В.А., Опекунова М.Ю.**
Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
agrembrandt@inbox.ru

Аннотация: Согласно генетической классификации, большинством специалистов выделяются эоловые озера, котловины которых были образованы деятельностью ветра. Среди огромных песчаных массивов и межгорных котловин на территории Селенгинского среднегорья выявлены эоловые озера, отличающиеся механизмом образования. Они расположены на разных высотах, экспозициях склонов и ландшафтных условиях, отличаются морфологическими параметрами. По происхождению выделяются озера дефляционные, дефляционно-эрозионные и навеянные (подпрудные). Характерной чертой эоловых озер является пульсирующий характер их водного зеркала. Данные дистанционного зондирования и разновременные картографические материалы и сравнение их с гидро-климатическими данными позволили выявить изменения площади озер в различные климатические циклы. В настоящее время изучаемая территории находится в аридном климатическом цикле, при котором резко сократились речной сток и площадь озер, в том числе и эоловых, многие из них полностью высохли. Показано, что донные отложения эоловых озер несут информацию о различных климатических циклах и палеогеографической обстановки их седиментации. На основе изучения осадков эолового озера Рыбное, с применением радиоизотопного датирования, выявлена динамика их обводнения и этапы активизации эоловых процессов в голоцене. В первой половине среднего голоцена фиксируются повышенные уровни озер, свидетельствующие о более влажном климате. Во второй половине голоцена, после достижения максимума обводненности, происходит постепенное снижение уровня. Колебания стали носить пульсирующий характер. На рубеже 5800 лет назад фиксируется резкое снижение уровня озера Рыбное, о чем свидетельствует увеличение песчаного материала в отложениях и прослои чистого песка. Позднее падают скорости осадконакопления и водный режим приближается к современной эпохе с периодическим полным высыханием мелких озер в аридные фазы и наполнением чаши в многоводные периоды. Корреляция полученных данных с результатами изучения озер Северной Монголии позволяет говорить о синхронности палеогеографических событий голоцена с южной частью Селенгинского среднегорья.

Ключевые слова: Эоловые озера, классификация, донные отложения, голоцен, Селенгинское среднегорье

Введение

Существует несколько десятков классификаций озер, в основу которых положены различные принципы в зависимости от поставленных задач. А. Хатчиснсоном (1957), выделившим 11 групп и 76 различных типов озерных котловин. Эта классификация близка к таковой М.А. Первухина (1937). По морфо-генетическому принципу были разработаны классификации Д.Д. Квасова (1986), В.В. Богданова (1984) и др. Практически во всех классификациях эоловые (дефляционные) выделяются в отдельные подразделения.

На региональном уровне, при более детальном изучении озерных котловин, классификации все более усложнялись. Так для территории СССР была разработана оригинальная классификация Ю.П. Пармузина (1975) со схемой районирования. Белецкой Н.П. (1987) предложена генетическая классификация озер Западной Сибири. Котловины эоловых озер здесь рассматриваются как созданные процессами дефляции или

неравномерной субаэральной аккумуляции на равнинах, на незадернованных поверхностях речных террас и пойм, а также на других поверхностях, сложенных осадками легкого механического состава.

В ландшафтно-лимногенетической классификации озер Якутии, разработанной И.И. Жирковым (2014) выделяется тип - тукулановые озера (озера песчаных массивов), которые в свою очередь подразделяются на подтипы – Современных тукуланов, с видами дефляционных (котловин выдувания) и навеянных котловин (при подпруживании стока навеянной дюной); древних тукуланов, с видами дефляционных, дефляционно-эрозионных, дефляционно-термокартовых котловин.

Для территории Селенгинского среднегорья генетическая классификация озер, несмотря на их большое количество, не разработана. В данной работе рассматриваются эоловые озера Селенгинского среднегорья и их динамика в голоцене, запечатленная в их донных отложениях.

Типы озер и их распространение

Селенгинское среднегорье, как и любая горная страна, имеет разнообразный рельеф, сложное геологическое строение, климат. Орографический рисунок создает условия для возникновения воздушных коридоров, определяющих направления основных ветров.

Рельеф характеризуется кулисообразно расположенными горными хребтами, вытянутыми в субширотном направлении и разделенными обширными межгорными котловинами, заложенными в мезозое. Днища и борта котловин выполнены рыхлыми отложениями весьма разнообразного генезиса – озерными, аллювиальными, делювиальными, пролювиальными, эоловыми и т.д. Чехол осадочных пород неоднороден по мощности и колеблется в пределах нескольких сотен метров на днищах и первых десятков на бортах.

Климатические условия резко континентальные с холодной малоснежной зимой, сухой ветреной весной и осенью, с частыми засухами и пожарами. Все это в совокупности с легким гранулометрическим составом почв, открытыми степными и лесостепными ландшафтами способствует широкому распространению эоловых процессов и как следствие возникновению соответствующих форм рельефа. Как отмечают исследователи, изучавшие эоловый морфогенез на территории Западного Забайкалья, процесс возникновения данного типа рельефа носит унаследованный характер (Антощенко-Оленев, 1982; Базаров, 1986: Олюнин, 1977; Иванов, 1966; Голубцов и др., 2017 и др.). В связи с этим выделяется как древний, так и современный эоловый рельеф.

В зависимости от генезиса на территории Селенгинского среднегорья можно выделить несколько типов озерных котловин, связанных с эоловыми процессами рельефообразования (Рис.1). Дефляционные озера формируются в котловинах выдувания. Это самые распространенные озера, они формируются на террасах, слабонаклонных равнинах. Они имеют вытянутую по направлению преобладающих ветров форму и небольшую глубину, часто засоленные.

Дефляционно-эрозионные самые распространенные и обычно сосредоточены в речных долинах и обязаны своему возникновению совокупной эрозионной деятельности водотоков и эоловых процессов (озеро.

Наиболее необычными озерами на территории Селенгинского среднегорья являются навеянные (подпрудные) (по И.И. Жиркову, 2014). Они возникают в случае перегораживания речных долин движущимися песками с наветренных склонов хребтов. Было замечено, что этот огромный песчаный массив перекрывает небольшую долину реки Лешаковки, запруживая ее, благодаря чему образовались 2 озера – Рыбное и Черное (Рис. 1 - д).

В настоящее время большинство озер высохли, что позволяет достаточно подробно изучить их донные отложения. В 2016 г. были вскрыты на полную мощность донные отложения оз. Рыбного (Рис. 1- е).

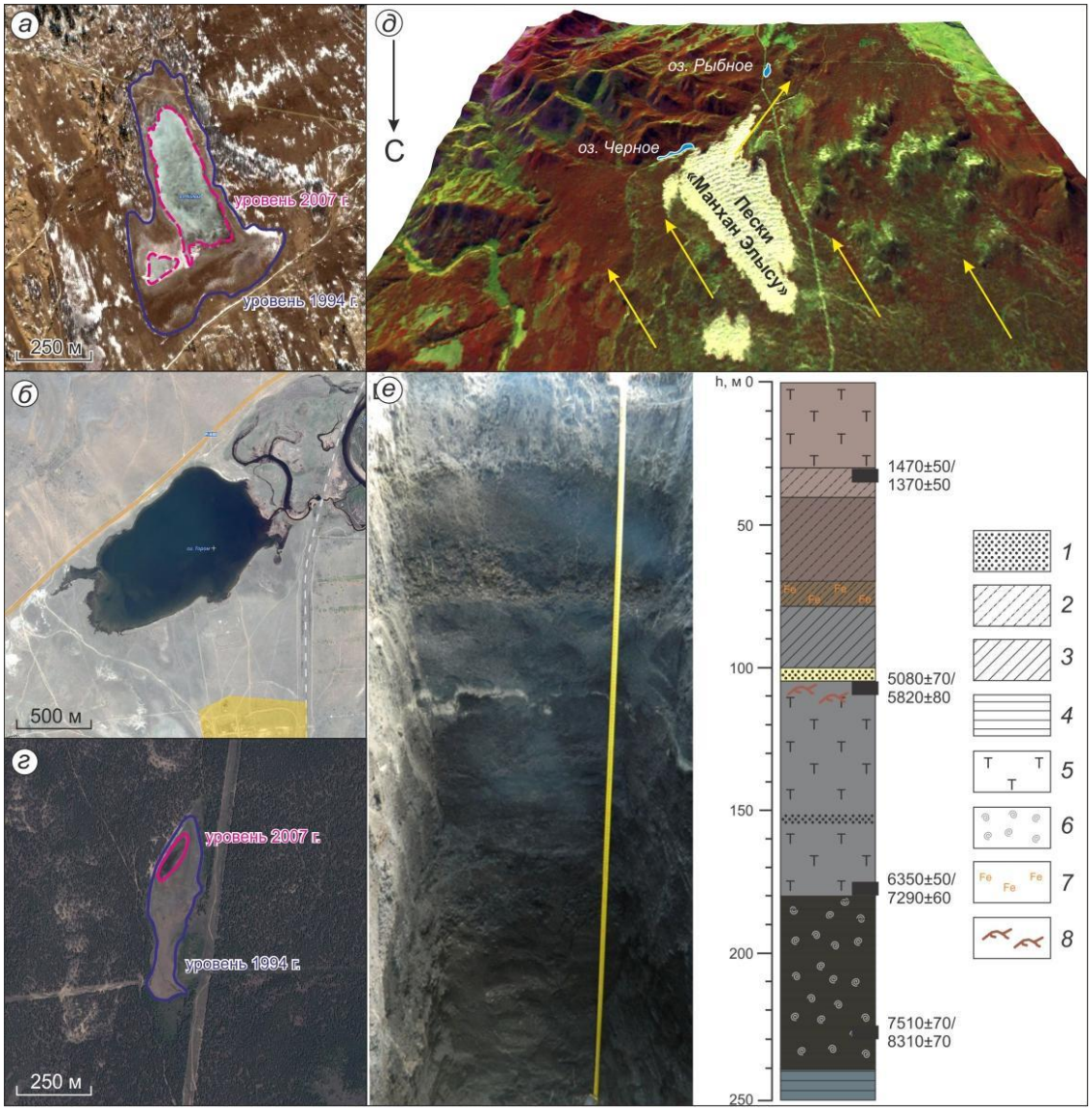


Рис. 1 Примеры эоловых озер: а – дефляционное оз. Холой; б – дефляционно-эрозионное оз. Тором; г-навеянное (подпрудное) оз. Рыбное; д- модель рельефа в районе озер Рыбное и Черное (стрелками показано основное направление движения песков; е – разрез донных отложений оз. Рыбное: 1 – песок, 2 - супесь, 3 - суглинок, 4 – глина, 5 - оторфованные слои, 6 – раковины моллюсков, 7 – ожелезненные отложения, 8 – макроостатки древесных растений

Разрез отложений выглядит следующим образом:

0-30 см. Горизонт современной почвы;

30-40 см. Супесь светло коричневая, пронизана корнями (30-40 см);

40-70 см. Супесь черная с глиной;

70-80 см. Сцементированная в виде остроугольных обломков ожелезненная супесь с прослоями черного суглинка;

78-100 см. Суглинок черный плотный;

100-104 см. Песок тонкозернистый светло-желтый;

104-180 см. Горизонтально слоистая толща (мощность слоев от 3 см в верхней, до 15 см в нижней части) торфа разной степени разложения. На глубине 150-153 см фиксируется прослой торфа с песком;

180-240 см. Глина черная с раковинами моллюсков (180-240 см).

В верхней части вскрываются оторфованные органогенные отложения, накапливающиеся в условиях заболоченного луга, содержащие прослои «болотной руды» и эоловых песков. Данная пачка содержит прослои гиттии, встречаются полуразложившиеся ветви деревьев и сосновые шишки, особенно многочисленные под горизонтом эоловых песков.

На глубине 225-250 см залегают сизоватые глины, насыщенные малакофауной. По постепенной границе (по цвету) они переходят в бурые оторфованные отложения, насыщенные мелкими раковинами. На глубине 194 см они исчезают из состава отложений. С глубины 178 см начинается ритмично-слоистая пачка, состоящая из чередования оструктуренных (угловатой крупитчатой структуры) горизонтов с оторфованными отложениями. Структурные отдельности покрыты относительно мощными охристыми пленками.

Нижняя пачка отражает озерный режим осадконакопления, верхняя пачка разреза маркирует колебания олуговения-заболачивания, во время постепенного обмеления озера. В донных отложениях озера в Санкт-Петербургском государственном университете были получены радиоуглеродные даты на глубине: 30-35 см (ЛУ-8351) - 1470±50 лет, с календарным возрастом 1370±50 калл. лет; 100-110 см (ЛУ-8354) - 5080±70 лет с календарным возрастом 5820±80 калл. лет; 173-178 см (ЛУ-8352) - 6350±50 лет с календарным возрастом 7290±60 калл. лет; 225-230 см (ЛУ-8353) - 7510±70 лет с календарным возрастом 8310±70 калл. лет.

Выводы

Эоловые озера Селенгинского среднегорья требуют дальнейшего комплексного изучения, поскольку их экосистемы очень чувствительны к изменениям окружающей среды. В условиях глобального изменения климата важно изучение палеогеографической летописи, зафиксированной в донных отложениях.

Палеогеографическая интерпретация полученных данных требует проведения ряда анализов, но сопоставление с климатическими схемами голоцена позволяет сделать некоторые предварительные выводы.

По сопоставлению озерного осадконакопления, соответствующего влажному периоду, с сопредельными регионами оно наиболее коррелируется с Северной Монголией (Дорофенюк, Тарасов, 1998). Высокие уровни озер фиксируются здесь после раннеголоценового низкого уровня. Этому времени соответствует нижняя пачка донных отложений оз. Рыбного с озерным режимом осадконакопления. После 7000 л. н. начинается постепенное и асинхронное снижение уровней. В рассметриваемом разрезе это отразилось в возникновении оторфованности отложений.

Рубеж 5000 л.н., с которого начинается постепенное снижение уровней озер Монголии фиксируют прослои эоловых и насыщенных песком отложений, свидетельствующих о пульсурующем характере колебаний уровня. Временное повышение уровней на границе среднего и позднего голоцена (3000-2000 л. н.) соответствует 40-70 см рассматриваемой толщи. Дальнейший режим существования озера (позднее 2000 л.н.) был, по всей видимости близок к современному.

Дальнейшее изучение донных отложений эоловых Селенгинского среднегорья позволит наиболее близко подойти к расшифровке палеогеографической летописи данного региона и выявить периоды интенсивного эолового рельефообразования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00495 мол_а

Список литературы

Антощенко-Оленев И.В. История природных обстановок и тектонических движений в позднем кайнозое Западного Забайкалья / И.В. Антощенко-Оленев. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1982. –156 с.

Базаров Д.Б. Кайнозой Прибайкалья и Западного Забайкалья / Д.Б. Базаров. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1986. – 181 с.

Белецкая Н.П. Генетическая классификация озерных котловин Западно-Сибирской равнины // Геоморфология. 1987. № 1. С. 50-58.

Богданов В.В. Зонально-региональные свойства лимногенеза и их роль в классификации и районировании озер // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. — Л.: изд-во АН СССР. Геогр. об-во СССР, 1984, С. 71-78.

Дорофеюк Н.И., Тарасов П.Е. Растительность и уровни озер севера Монголии за последние 12500 лет, по данным палинологического и диатомового анализов // Стратиграфия, геологическая корреляция. 1998. Т.6. №1. С.73-87.

Иванов А. Д. Эоловые пески Западного Забайкалья и Прибайкалья. – Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. - 232 с.

Квасов Д.Д . Возрастно-генетическая классификация котловин озер Северной и Центральной Евразии // Изв. ВГО, 1986, т. 118, вып. 6, с. 487—492.

Жирков И.И. Схема линогенетической классификации озер Северо-Востока России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. № 34. С. 18-25.

Олюнин В.Н. Происхождение рельефа возрожденных гор / В.Н. Олюнин. – М.: Наука, 1978. - 276 с.

Первухин М.А. О генетической классификации озерных ванн // Землеведеиие. 1937. № 6. С. 526-537.

Huttchinson A.D. A Treatise on Limnology. V. 1 (Geography, Physics and Chemistry). New York, London, 1957. P. 1015.

Aeolian Lakes of the Selenginskoe Uplands

Kobylkin D.V., Golubtsov V.A., Opekunova M.Yu.
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 664033, Russia, Irkutsk
agrembrandt@inbox.ru

Abstract: According to the genetic classification, most experts identify aeolian lakes, whose basins were formed by wind activity. Among the huge sandy massifs and intermountain depressions on the territory of the Selenginskoe Uplands, there are aeolian lakes with the different formation mechanism. They are located at different altitudes, slope exposures and under different landscape conditions, and have different morphology. By origin the lakes can be classified into deflationary, deflation-erosive and dune-dam. Pulsating water mirror is an essential characteristic of aeolian lakes. Remote sensing data and time-based cartographic materials and their comparison with hydro-climatic data made it possible to identify changes in the area of lakes in different climatic cycles. The study area is currently within the arid climatic cycle, in which the river runoff and the area of lakes, including aeolian ones, have drastically decreased, many of them have completely dried up.

The paper shows, that the bottom sediments of aeolian lakes carry information on various climatic cycles and the paleogeographic situation of their sedimentation. Based on the study of the sediments of the aeolian lakes Rybnoe and Torom, using radioisotope dating, we revealed the dynamics of their watering and activation of aeolian processes in the Holocene. In the first half of the Middle Holocene, we recorded rising lake levels, indicating a more humid climate. In the second half of the Holocene, after reaching the water maximum, the level gradually decreases. The fluctuations have become pulsating.

About 5800 years ago, a sharp decline in the level of the Rybnoye Lake is recorded, as evidenced by the increase of sand components in the sediments and interbeds of clean sand. Later, sedimentation rates decrease and the water regime is closer to the modern era with periodic complete drying of small lakes in arid phases and filling the bowl in the high water periods. Correlation of the obtained data with the results of studying the lakes of Northern Mongolia allows us to speak about the synchronism of the paleogeographic events of the Holocene with the southern part of the Selenga Uplands.

Keywords: Aeolian lakes, classification, bottom sediments, Holocene, Selenginskoe Uplands

Использование методов регрессионного анализа для оценки стока взвешенных наносов рек Камчатского края

***Куксина Л.В.*, Алексеевский Н.И.**
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
ludmilakuksina@gmail.com

Аннотация: Выполнена оценка стока взвешенных наносов рек Камчатского края, поступающего в Тихий океан, Берингово и Охотское моря, в том числе с водосборов, неосвещенных сетевыми наблюдениями. Для выделенных на территории края эрозионных районов разработаны регрессионные зависимости модуля стока взвешенных наносов от определяющих факторов, использовавшиеся для определения стока взвешенных наносов с территории 129 неизученных речных водосборов на территории Камчатского края.

Согласно полученным оценкам, суммарный средний многолетний сток взвешенных наносов рек Камчатского края в Тихий океан составляет $11.4 \cdot 10^6$ т/год. Максимальное количество взвешенных наносов поступает в Тихий океан со стоком рек восточного побережья Камчатского края (~50%), в то время как в Охотское и Берингово моря поступает лишь по четверти суммарного стока наносов территории, что связано с существенным влиянием вулканических извержений на реки восточного побережья Камчатки, а также различием в модулях стока воды.

Ключевые слова: Реки Камчатского края, сток взвешенных наносов, регрессионная зависимость, модуль стока взвешенных наносов, Тихий океан, Берингово море, Охотское море, активный вулканизм.

Введение

Исследуемая территория включает полуостров Камчатку, а также материковую часть Корякии. Регион является одним из наименее изученных на территории РФ в отношении стока наносов (Дедков и Мозжерин, 1984; Ресурсы…, 1973; Сток наносов…, 1977; Bobrovitskaya, 1996). Детальные оценки стока взвешенных наносов в устьях рек и суммарного выноса наносов в Тихий океан, Берингово и Охотское моря ранее никогда не выполнялись. В этой связи представляется актуальной задача проведения подобных расчетов. Интерес к изучению стока взвешенных наносов рек Камчатского края связан также с природными особенностями региона, являющегося зоной активного проявления современных вулканических процессов, оказывающих существенное влияние на формирование стока взвешенных наносов протекающих здесь рек.

Из более чем 140000 рек, протекающих по территории Камчатского края только 56 охвачены данными наблюдений за характеристиками стока взвешенных наносов. Сведения для замыкающих створов рек при впадении в приемные водные объекты (Тихий океан, Берингово и Охотское моря) имеются для еще меньшего числа речных бассейнов – 17, занимающих менее половины территории края, в то время как бóльшая часть региона остается неизученной в отношении стока наносов. Таким образом, для оценки суммарного стока взвешенных наносов с территории Камчатского края возникает задача его определения для неизученных речных водосборов.

Одним из методов оценки стока взвешенных наносов с территории неизученных речных бассейнов является эрозионное районирование территории Камчатского края, где каждый из выделенных районов имеет схожий набор и количественную характеристику факторов формирования стока взвешенных наносов (Куксина и Алексеевский, 2016). Данное районирование может являться основой для разработки регрессионных зависимостей модуля стока взвешенных наносов от определяющих факторов для оценки

стока взвешенных наносов с территории неизученных речных бассейнов. Для достижения поставленной цели требуется разработать уравнения множественной линейной регрессии с целью их последующего использования для оценки модуля стока взвешенных наносов с неизученных речных бассейнов, а также оценить сток наносов в устьях рек, впадающих в Тихий океан, Берингово и Охотское моря, и его суммарную величину.

Выполнение данного исследования основано на материалах стационарных наблюдений Камчатского УГМС за стоком воды и взвешенных наносов на 63 постах в период с 1930 по 2010 г.

Материалы и методы

Определение характеристик стока взвешенных наносов для бассейнов, охваченных материалами гидрометрических наблюдений, осуществлялось стандартными методами с учетом проверки надежности используемых материалов (полноты рядов, их однородности и репрезентативности).

Оценка стока взвешенных наносов с территории речных бассейнов, не охваченных стационарными наблюдениями, осуществлялась с использованием методов ландшафтной гидрологии, позволяющих, учитывая подобие условий формирования стока взвешенных наносов, распространять характеристики, полученные для изученных водосборов, на территорию неизученных речных бассейнов. На этой основе было выполнено эрозионное районирование территории Камчатского края (рис. 1, а) (Куксина и Алексеевский, 2016).

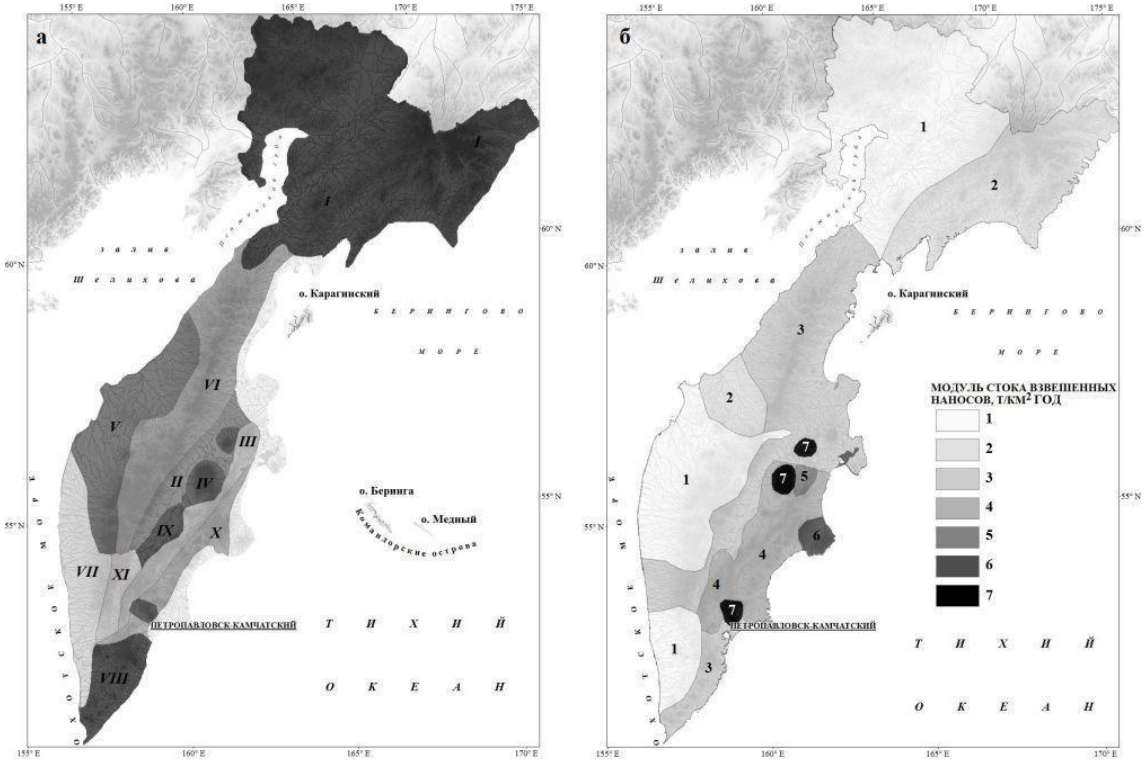


Рис. 1 Эрозионные районы (а) и распределение модуля стока взвешенных наносов (б) на территории Камчатского края (по (Куксина и Алексеевский, 2016)). Модуль стока взвешенных наносов, т/км2·год: 1 – < 10, 2 – 11-25, 3 – 26-50, 4 – 51-100, 5 – 101-250, 6 – 251-500, 7 – > 500

Зональность климатических факторов и почвенно-растительного покрова создает предпосылки для картирования характеристик стока взвешенных наносов и их определения для неизученных рек. При картировании параметров стока наносов использовался метод выделения районов с заданными пределами изменения рассматриваемой величины (Сток наносов…, 1977). Наиболее удобными величинами для

картирования являются средняя многолетняя мутность рек и модуль стока взвешенных наносов (рис. 1, б).

Для расчета стока взвешенных наносов неизученных рек на территории Камчатского края разрабатывались регрессионные зависимости, учитывающие основные факторы формирования стока взвешенных наносов в том или ином районе (Горецкая, 1974; Walling and Webb, 1996). Подобные зависимости были получены К.Н. Лисицыной для Европейской территории СССР и Сибири, Л.Г. Ткачевой − для территории Средней Азии (Лисицына, 1974; Ткачева, 1974). Для территории Камчатского края данные зависимости разрабатывались для выделенных ранее 11 эрозионных районов (Куксина и Алексеевский, 2016).

Для выделения определяющих факторов формирования стока взвешенных наносов анализировались зависимости зависимой переменной (модуль стока взвешенных наносов M_R, т/(км^2·год)) от независимых переменных (факторы формирования стока взвешенных наносов). Выделенные факторы проверялись на независимость путем построения корреляционных матриц. Дублирующие параметры исключались из рассмотрения, что позволило повысить устойчивость расчетных зависимостей. Показатели, дающие максимальные коэффициенты парной корреляции с модулем стока взвешенных наносов, использовались для построения регрессионных зависимостей на основе метода множественной линейной корреляции. Для применения данного метода была принята гипотеза о линейности рассматриваемых связей, поскольку малое количество точек не позволяет обосновать использование зависимостей более сложного вида. Рассматривалась возможность существования зависимости случайной переменной от нескольких независимых факторов. Множественная регрессия позволила выявить лучшие предикторы для оценки стока взвешенных наносов.

Табл. 1 Зависимости для оценки модуля стока взвешенных наносов неизученных рек Камчатского края

Район	Зависимость	Относительная ошибка расчета, %
I	MR=f(MQ)	4.1 ÷ 15.9
II	MR=f(α)	0 ÷ 1.6
III	MR=f(MQ,f0)	0.5 ÷ 8.5
IV	MR=f(lgF,I,f0,FвF,FpF)	0.3 ÷ 20.6
V	MR=f(IH)	5.0 ÷ 69.0
VI	MR=f(MQ)	20.0 ÷ 700
VII	MR=f(lgF,0.033IH)	0.5 ÷ 143
VIII	MR=f(I,IH,)	1.3÷45.5
IX	MR=f(α,I)	8.0 ÷ 131
X	MR=f(f0,I,MQ)	0.2 ÷ 7.5
XI	MR=f(MQ,f0)	9.6 ÷ 276

Примечание: F – площадь водосбора, км^2; MQ – модуль стока воды, л/с·км^2; I – средний уклон реки, ‰; I – средневзвешенный уклон реки, ‰; H – средняя высота водосбора, м; IH – средний уклон водосбора, ‰; α – густота речной сети, км/км^2; f0– залесенность водосбора, %; FвF – притоки, непосредственно дренирующие склоны и подножия действующих вулканов; FpF – рыхлые вулканические отложения на территории бассейна.

В результате для каждого из выделенных эрозионных районов были получены регрессионные зависимости модуля стока взвешенных наносов от определяющих параметров, учитывающие основные факторы формирования стока взвешенных наносов в

том или ином районе (табл. 1). Оценка надежности полученных уравнений осуществлялась методом «выбрасываемой точки» (Христофоров, 1975). Некоторые из этих зависимостей характеризуются относительно небольшой величиной ошибки расчета модуля стока взвешенных наносов и могут быть использованы для расчета стока взвешенных наносов с территории бассейнов рек, не охваченных данными стационарных наблюдений (см. табл. 1).

Результаты

Оценка стока взвешенных наносов была выполнена для замыкающих створов 481 реки, впадающей в Тихий океан, Берингово и Охотское моря на территории Камчатского края. Площадь водосборов рассмотренных речных бассейнов изменяется от 1.4 (р. 1-ая Поганка, впадающая в Авачинскую губу Тихого океана) до 73500 км^2 (р. Пенжина, впадающая в Пенжинскую губу Охотского моря). Из этих рек сведения о стоке взвешенных наносов для районов замыкающих створов имеются для 17 речных водосборов (их площадь изменяется от 150 до 73500 км^2) суммарной площадью 218 000 км^2 (или 45% суммарной площади всех речных бассейнов). Для них на основе рядов стационарных данных о стоке взвешенных наносов на 63 постах продолжительностью от 6 до 71 года была произведена оценка стока взвешенных наносов в замыкающих створах. Для 129 речных бассейнов площадью от 51.8 до 24100 км^2 (суммарная площадь 180 000 км^2) расчет среднего многолетнего стока взвешенных наносов осуществлялся по районным зависимостям. Для остальных речных бассейнов (335) площадью 62000 км^2 (диапазон площадей 8.96–906 км^2) оценки производились с использованием сведений о распределении модуля стока взвешенных наносов по территории Камчатского края (рис. 1, б), поскольку многие из них располагаются на территории, не охваченной районированием, или же для них не представляется возможным определение необходимых расчетных параметров удовлетворительной точности.

Максимальное количество взвешенных наносов (~2.7 млн т/год) на территории Камчатского края транспортирует р. Камчатка. Крупнейшая река региона (р. Пенжина) переносит примерно в 4 раза меньше взвешенных наносов (~0.7 млн т/год). На долю этих двух рек приходится примерно 30% суммарного стока взвешенных наносов рек Камчатского края, поступающего в Тихий океан, Берингово и Охотское моря.

Суммарный сток взвешенных наносов рек Камчатского края в Тихий океан оценен в 11.4 млн т/год. 73.9% от этой величины транспортируется реками восточного побережья в Берингово море и Тихий океан; 26.1% поступает в Охотское море со стоком рек западного побережья региона. Такое распределение стока наносов по территории, как уже говорилось ранее, во многом связано с расположением действующих и потухших вулканов на исследуемой территории. Этим также объясняется тот факт, что модуль стока взвешенных наносов рек бассейна Тихого океана существенно превышает аналогичную величину для бассейнов Берингова (~ в 5 раз) и Охотского (~ в 3 раза) морей.

Выводы

Для выделенных ранее эрозионных районов (Куксина и Алексеевский, 2016) разработаны регрессионные зависимости модуля стока взвешенных наносов от определяющих факторов (площадь водосбора, модуль стока воды, средний уклон реки, средневзвешенный уклон реки, средняя высота водосбора, средний уклон водосбора, густота речной сети, залесенность водосбора; притоки, непосредственно дренирующие склоны и подножия действующих вулканов; рыхлые вулканические отложения на территории бассейна), использовавшиеся для определения стока взвешенных наносов с территории 129 неизученных речных водосборов на территории Камчатского края.

Максимальное количество взвешенных наносов поступает в Тихий океан со стоком рек восточного побережья Камчатского края (~50%), в то время как в Охотское и Берингово моря поступает лишь по четверти суммарного стока наносов территории, что связано с существенным влиянием вулканических извержений на реки восточного побережья Камчатки, а также различием в модулях стока воды. Примерно треть всех наносов транспортируется двумя крупнейшими реками региона – Камчаткой и Пенжиной.

Суммарный сток взвешенных наносов с территории Камчатского края в Тихий океан, Берингово и Охотское моря, составляет 11.4 млн т/год. Полученные нами оценки модуля стока взвешенных наносов исследуемого региона хорошо согласуются с величиной, полученной в работе (Walling and Webb, 1996), обобщающей сведения для всего мира.

Список литературы

Горецкая З.А. Закономерности распределения стока взвешенных наносов рек по территории Украины // *Тр. УкрНИГМИ*, вып. 127, 1974: 122 – 132

Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1984. 264 с.

Куксина Л.В., Алексеевкий Н.И. Эрозионное районирование территории Камчатского края // *География и природные ресурсы*, № 2, 2016: 132 – 141

Лисицына К.Н. Сток взвешенных наносов рек Сибири // *Тр. ГГИ*, вып. 210, 1974: 48 – 72

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 20. Камчатка. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 366 с.

Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 240 с.

Ткачева Л.Г. Сток взвешенных наносов рек Средней Азии // *Тр. ГГИ*, вып. 210, 1974: 73 – 81

Христофоров А.В. Особенности задачи прогноза гидрологических характеристик по уравнениям регрессии // *Метеорология и гидрология*, № 11, 1975: 72 – 80

Bobrovitskaya N.N. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of the former Soviet Union // *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives. IAHS Publ.*, 236, 1996: 32–39

Walling D.E., Webb B.W. Erosion and sediment yield: a global overview // *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives. IAHS Publ.*, 236, 1996: 3–19

Application of regression analysis for suspended sediment yield assessment in rivers of the Kamchatsky Krai, Russia

Kuksina L.V.*, *Alexeevsky N.I.
Moscow State University, Moscow
ludmilakuksina@gmail.com

Abstract: The amount of suspended sediments transported by rivers of the Kamchatsky Krai into the Pacific Ocean, the Sea of Okhotsk, and the Bering Sea was estimated. The suspended sediment yield from ungauged territories was also assessed on the basis of geography-hydrology generalization and regression equations of specific suspended sediment yield from determinative factors. These equations were applied for suspended sediment yield assessment in 129 ungauged river basins in the region.

According our estimations, the total suspended sediment yield from the Kamchatsky Krai territory is estimated as 11.4 Mt per year. The maximum amount (~50%) of suspended sediments is transported by rivers of the eastern coast into the Pacific Ocean, while the suspended sediment yield into the Sea of Okhotsk and the Bering Sea is one quarter and one quarter respectively. Such distribution of suspended sediment yield in the Kamchatsky Krai territory is mainly connected with position of active volcanoes there, and the difference in specific water discharge distribution also.

Keywords: Rivers of the Kamchatsky Krai, suspended sediment yield, regression equation, specific suspended sediment yield, Pacific Ocean, Bering Sea, Sea of Okhotsk, active volcanism

Особенности подземного питания притоков верхней Волги на участке Тверь – Дубна

***Лапина Е.Е.*, Кудряшова В.В.**
Институт водных проблем РАН
shtriter_elena@rambler.ru

Аннотация: Проанализированы результаты полевых работ 2007 – 2015 г.г., проведенных для балансовой оценки притока подземных вод в реки, впадающие в Волгу на отрезке Тверь–Дубна (Иваньковское водохранилище). Для определения приращения подземного притока по продольному профилю реки использованы комплексные гидрометрические, гидрохимические и термометрические съемки. В колодцах береговой зоны измерены уровни грунтовых вод, у родников - дебиты, при их отсутствии пробурены скважины; отобраны пробы воды на химический анализ. На основании анализа фондовых, картографических и собственных полевых данных авторами разработана предварительная типизация малых рек Верхней Волги на отрезке Тверь - Дубна по структуре подземного питания. В массиве исследованных рек выделены две категории и пять типов. Критерием выделения послужило соотношение участвующих в питании подземных вод разного генезиса. Установлено, что основной формой подземного питания рек в изученном регионе является субаквальная разгрузка вод аллювиально - флювиогляциального комплекса и водоносных горизонтов верхнего - среднего карбона в зонах гидрогеологических окон и тектонической трещиноватости. Родниковый сток играет подчиненную роль.

Ключевые слова: Подземное питание малых рек, Иваньковское водохранилище, родниковый сток, субаквальная разгрузка

Введение

Подземное питание рек определяется характером взаимодействия речных и подземных вод, адекватная оценка которого происходит только при совместном использовании данных по гидрологии, геологии и гидрогеологии исследуемого объекта.

С гидрогеологическими условиями в долине реки связано наличие нескольких водоносных горизонтов, соотношение пьезометрических уровней, особенности режима и динамики подземных вод. С гидрологическими условиями – режим водотока, извилистость русла, глубина эрозионного вреза, показатели несовершенства русла реки по степени и характеру вскрытия водоносного горизонта. С геологическими условиями связано наличие разломов и степени проницаемости водоупоров для межпластовых вод зоны гипергенеза, так как питание грунтовых вод в долинах связано с положительным перетеканием из межпластовых вод (Всеволожский,1991; Шестаков и Поздняков, 2003).

Речные долины представляют собой зону тесного контакта природных вод разного генезиса, поэтому гидравлическая связь подземных и поверхностных вод проявляется здесь наиболее наглядно (Всеволожский, 1991). На изученной территории в реки и перетеканием в другие горизонты разгружаются все водоносные горизонты зоны активного водообмена: современных болотных образований и аллювиального водоносного горизонта, верхнечетвертичного аллювиального, единого верхнесреднечетвертичного аллювиально-флювиогляциального и флювиогляциального водоносных горизонтов, днепровско-московского и окско-днепровского аллювиально-флювиогляциальных водоносных горизонтов.

На участках, где размыты или маломощны юрские глины, где имеются тектонические нарушения, происходит разгрузка вод верхнего и среднего карбона. Разгружаются воды

клязьминского C_3kl, касимовского C_3k, подольско-мячковского C_2pd-m водоносных горизонтов, а в отдельных местах – залегающих значительно глубже вод хлоридного типа (Лапина и др., 2014).

Материалы и методы

По картографическим данным модули среднегодового подземного стока 50% обеспеченности от истоков Волги до Рыбинска составляют величины 2.2 – 3.4 л/с км^2 (Ковалевский, 2001). По нашим данным, на изученном участке Волги от Твери до Дубны модуль подземного стока колеблется в среднем в диапазоне 1.1-1.6 л/с км^2.

По расчетам О.В. Попова, в пределах Верхневолжской низменности доля подземного стока (грунтовых и напорных вод) от общего речного составляет 10-20% (Попов, 1968). В 1962 году Б.И. Куделин составил карты подземного стока для южного крыла Московской синеклизы. Описываемая территория согласно этим картам входит в район дренирования реками вод флювиогляциальных отложений со среднегодовым модулем подземного стока 1.5 – 2.0 л/с км^2 и среднегодовым слоем стока 50-60 мм, где подземный сток в реки составляет 20-30% от общего стока рек (Подземный…, 1966).

В период 2007-2013 г.г. для оценки взаимодействия речных и подземных вод по продольному профилю водотоков авторами применен комплексный подход, выраженный в одновременном использовании гидрохимического и гидрометрического методов на базе детального изучения геологического строения и гидрогеологических условий водосборного бассейна. Исследовались реки – притоки Волги на ее отрезке от Твери до Дубны (Иваньковское водохранилище, или Московское море) с различными геолого-гидрогеологическими условиями водосборов.

Использовался упрощенный гидрометрический метод оценки подземного питания на бесприточных участках рек в период отсутствия осадков. В случае транспортной и пешей недоступности таких участков работы провели там, где имелись притоки, с замером расходов последних.

Одновременно с гидрометрическими работами измеряли уровень грунтовых вод (УГВ) в колодцах или дебиты родников в прибрежной зоне. При отсутствии таковых УГВ определяли в пробуренных вручную временных скважинах глубиной 0.8- 3.0 м на расстоянии 5 и 25 м от уреза воды. Отобранные на химический анализ пробы воды доставлялись в лабораторию сразу.

Анализ проб воды проводили в аттестованной гидрохимической лаборатории Иваньковской научно-исследовательской станции ИВП РАН по стандартным методикам. В пробах определяли электропроводность и pH (потенциометрически), цветность (колориметрически по Pt-Co шкале), перманганатную окисляемость - по Кубелю, общее железо ($Fe_{общ}$) с фенантронилом. Солевой состав (HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}) – титрованием, хлориды – аргентометрически, сульфаты (SO_4^{2-}) – турбидиметрически с $BaCl_2$. Концентрации ионов Na^+ и K^+ проанализированы методом пламенной фотометрии в нефильтрованных пробах, определение марганца (Mn) фотометрическое с использованием формальдоксима. Соединения азота и фосфора определены фотометрически (аммоний-ион – с реактивом Несслера, нитрат-ион - с салицилатом натрия, общий фосфор - с аскорбиновой кислотой в фильтрованных пробах).

Работы проводились во время зимней и летней межени.

Результаты

Установлено, что на продольном профиле исследованных рек гидравлическая связь между речными и подземными водами носит разнонаправленный характер. Расчеты оценки подземного питания между створами проводились по упрощенной формуле (Лучшева, 1989)

$$q = Qн – Qв/L$$

где q – приток (потери) подземных вод на 1 км русла реки между заданными створами ($м^3/с$ км); Qн – расход воды в нижнем, Qв – в верхнем створе, ($м^3/с$), L – расстояние между створами, км.

Величины приращений подземных вод в русло между створами без учета километража на исследованном участке водосборной площади верхней Волги варьируют в пределах 0.005-0.56, потери речных вод – 0.002-0.475 $м^3/с$.

Наиболее досконально авторами исследована река Донховка – правый приток Волги. Анализ экспедиционных данных 2013 года показал, что на створах в Поречье, ниже его на 1.4 км, а также рядом с линией ЛЭП происходит отток речных вод (с расходом 0.31, 0.25 и 0.48 $м_3/с$ соответственно), а в створах выше Поречья и ниже Поречья в 2.9 км – приращение притока подземных вод в питании реки (0.22 и 0.25 $м^3/с$ соответственно) за счет притока из глубоких горизонтов. При этом створы, где наблюдается максимальное приращение и, наоборот, максимальный отток расположены в непосредственной близости от устья р. Донховки. Возможно, что такая гидравлическая связь между речными и подземными водами на продольном профиле р. Донховки обусловлена геологическим строением участка и влиянием Иваньковского водохранилища.

Пространственное распределение расходов реки и постворные гидрохимические характеристики рек хорошо отражают гидрогеологические особенности территории.

На основании анализа фондовых, картографических и собственных полевых данных авторами разработана предварительная типизация малых рек Верхней Волги на отрезке Тверь- Дубна по структуре подземного питания.

В массиве изученных рек выделено две крупные категории: реки, включенные в озерно-болотно-речные системы, и одиночные реки. На данном этапе исследований на изученной части водосбора Верхней Волги реки объединяются в пять типов. За критерий объединения водотоков взято соотношение участвующих в питании подземных вод разного генезиса (верховодки, аллювиальных, аллювиально-флювиогляциальных, флювиогляциальных, родниковых, напорных вод верхнего и среднего карбона).

Табл. 1 Типизация притоков Волги от Твери до Дубны по структуре подземного питания

Категории				
Озерно-болотно-речные системы		Одиночные реки		
Условия залегания				
Верховодка	Грунтовые			Артезианские
Характер напора				
Безнапорные и субнапорные		Субнапорные и напорные		Напорные
Питающие реку водоносные горизонты и родники (Воды…)				
Болотные, аллювиальные, флювиогляциальные надморенные, нисходящих родников	Аллювиальные, флювиогляциальные межморенные, надморенные, редко нисходящих родников	Аллювиально-флювиогляциальные межморенные, подморенные, верхнего карбона	Флювиогляциальные, верхнего и среднего карбона, восходящих родников	Аллювиально-флювиогляциальные, верхнего и среднего карбона
Тип				
I	**II**	**III**	**IV**	**V**

Выводы

Основной формой подземного питания рек является субаквальная разгрузка вод аллювиального и аллювиально-флювиогляциального комплекса и водоносных горизонтов верхнего и среднего карбона в зонах гидрогеологических окон и тектонической трещиноватости. Родниковый сток играет подчиненную роль.

Исследованиями предшественников выявлено, что на водосборной площади верхней Волги выше Твери в распределении долей подземного питания рек наблюдается обратная картина: родниковый сток и склоновое высачивание в сумме составляют около 70%,

субаквальная разгрузка в русло – около 15% от объема подземного притока (Просеков и Яковлев, 1988). Такое «противоречие», скорее всего, объясняется особенностями геологического строения: выше Твери юрские отложения размыты, поэтому разгрузка напорных вод происходит преимущественно родниковым стоком через вышележащую толщу четвертичных отложений. В то же время на изученной нами территории в отдельных местах мощность юрских глин достигает 30 м.

Общая величина доли подземного притока от среднемноголетнего годового поверхностного стока исследованных рек водосборного бассейна верхней Волги от Твери до Дубны варьирует в пределах 13 – 30 %.

Список литературы

Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. Учебник. – М., МГУ. 1991. 351 с

Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.

Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В. Родники долины верхней Волги: условия формирования, режим, охрана. Тверь. ООО «Купол». 2014. 256 с.

Лучшева А.А. Основы гидравлики и гидрометрии. 2-е изд. М.: Недра, 1989. 173 с.

Подземный сток на территории СССР / под ред. Б. И. Куделина М.: Изд-во МГУ, 1966. 303 с.

Попов О. В. Подземное питание рек. М.: Гидрометеоиздат, 1968. 290 с.

Просеков А.М., П.И. Яковлев. Роль подземных вод в формировании стока малых рек Калининской области//тез. Докладов науч. конф. Проблемы использования и охраны малых рек Калининской области. Калинин, 1988. – С. 20-24

Шестаков В.М., Поздняков С. П. Геогидрология.–М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 176 с.

Features of underground feeding of the tributaries of the upper Volga on a stretch Tver – Dubna

Lapina E.E., Kudryashova V.V.
Water Problems Institute RAS
shtriter_elena@rambler.ru

Abstract: The results of field work of 2013-2015 carried out for the balance estimation of the inflow of groundwater into the rivers – the tributaries of the Volga on a stretch Tver - Dubna (Ivankovo reservoir) are analyzed. To determine the increment of the underground inflow along the longitudinal profile of the river, complex hydrometric, hydrochemical and thermometric surveys were used. In the wells of the coastal zone, groundwater levels are measured, springs have flow rates, in their absence wells are drilled; water samples were taken for chemical analysis. Based on the analysis of stock, cartographic and own field data, the authors developed a preliminary typification of the small rivers of the Upper Volga by the structure of underground feeding on the stretch Tver-Dubna. Two categories and five types of rivers are singled out, the criterion of which was the ratio of groundwater of different genesis. It has been established that the main form of underground feeding of rivers in the studied region is subaqueous discharge of the alluvial-fluvioglacial waters and aquifers of the upper and middle Carboniferous in zones of hydrogeological windows and tectonic fracturing. Spring runoff plays a subordinate role.

Keywords: underground feeding of small rivers, Ivankovo reservoir, spring runoff, subaqueous discharge

Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов реки Оби в пределах Томской области и его многолетние изменения

***Мельникова Я.А.*, Вершинин Д.А.**
Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск
yaroslava5515@list.ru

Аннотация: Проведено исследования годового стока взвешенных наносов крупной трансрегиональной реки Томской области, одна из которых втекает и вытекает с территории Томской области – река Обь. Выявлена тенденция снижения годового стока взвешенных наносов в течение последних почти 70 лет. В результате анализа внутригодового распределения стока взвешенных наносов выявлено уменьшение доли стока в половодье и увеличение в межень.

Ключевые слова: взвешенные наносы, трансрегиональная река, внутригодовое распределение.

Введение

Сток взвешенных наносов (ВН) является одной из важнейших гидрологических характеристик. Взвешенные наносы образуются в результате смыва минеральных частиц со склонов, размыва дна и берегов рек. Как взвешенные, так и донные наносы участвуют в формировании русел и пойм водотоков - откладываясь на участках с малыми скоростями течений, наносы формируют берега и поймы рек. Содержание взвешенных частиц влияет на качество воды в водных объектах, определяет видовой и численный состав гидробионтов. Наносы также оказывают влияние на эффективность работы водозаборов, водосбросов, заиление водохранилищ и т.д.

На основании предыдущих исследований выявлено, что на большинстве крупных рек Томской области, в том числе крупнейшей реки Оби наблюдается снижение годового стока ВН (Мельникова Я.А. и Вершинин Д.А., 2017).

В настоящей работе приведены результаты исследования многолетних изменений внутригодового стока взвешенных наносов крупнейшей трансрегиональной реки Томской области – реки Обь. Ее истоки находятся в горах Алтая, а собственно река Обь образуется при слиянии Бии и Катуни. Длина Оби – 3650 км, площадь её водосборного бассейна – 2 990 000 км². Обь пересекает территорию области с юго-востока на северо-запад. Протяженность реки Оби в пределах Томской области 1080 км. На территории области в Обь впадают крупные реки: Томь, Чулым, Чая, Кеть, Парабель, Васюган, Тым, существенно повышая ее водность.

По водному режиму река относятся к Западно-Сибирскому типу, она имеют длительное весенне-летнее половодье (2-3 мес.). Подъем уровня весной происходит чаще в середине-конце апреля. Река Обь в пределах Томской области относится к полизональным рекам, поэтому ее водный режим отражает особенности формирования стока во всех пересекаемых физико-географических зонах. Обь на участке исследований относится к рекам с весенне-летним половодьем и осенними паводками.

В с. Дубровино в маловодные и средние по водности годы максимальные расходы воды редко превышают 3000 м^3/с ввиду значительной зарегулированности стока. В многоводные годы объема Новосибирского водохранилища недостаточно для регулирования стока и расходы воды достигают 9000 м^3/с. Половодье начинается в первой половине апреля.

В г. Колпашево даже в маловодные годы максимальные расходы воды достигают 10 000 м^3/с, а в многоводные превышают 16 000 м^3/с. Подъем уровней весной начинается, в среднем, 16 апреля. Спад половодья в многоводные годы продолжается до конца августа-начала сентября. Продолжительность половодья составляет, в среднем, 124 дня.

Гидрологический режим в с. Прохоркино – с. Александровское сходен с режимом в г.Колпашево. В многоводные годы максимальные расходы достигают почти 20 000 м^3/с. Ход уровней и расходов более плавный.

Материалы и методы.

Для анализа распределения стока взвешенных наносов по длине реки Обь на территории Томской области были выбраны гидрологические посты, приведенные в таблице 1. В качестве замыкающего створа были взяты два поста на реке Оби в нижнем течении области – Прохоркино и Александровское т.к. наблюдения за взвешенными наносами до 1997 г. производились на посту Прохоркино, а после его закрытия перенесены в с.Александровское.

Табл. 1 Сведения о рассматриваемых гидрологических постах

Река	Гидропост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км^2	Отметки нуля постов, м	Период действия
Обь	Александровское	1830	765000	32,24	18.12.1894 (19.09.1934)
Обь	Прохоркино	2024	738000	38,26	15.08.1959 – 01.11.1997
Обь	Колпашево	2422	456000	52,62	13.04.1914
Обь	Дубровино	2876	258000	82,52	18.08.1958

Результаты

Во внутригодовом распределении стока ВН по месяцам имеются существенные различия между выбранными для анализа постами наблюдений: с. Дубровино выше впадения реки Томь, г. Колпашево и с. Прохоркино–с. Александровское.

В с. Дубровино процентное распределение по месяцам имеет меньший разброс, чем на ниже лежащих постах в среднем за период 1967-2014 гг. – от почти 24,6 % в мае до 6,2 % в октябре. В многолетнем разрезе объем стока ВН по месяцам имеет разнонаправленные тенденции – в апреле и мае наблюдается снижение стока ВН как в абсолютном, так и в долях от общего годового стока ВН. Также можно выделить цикл увеличения с 1987 по 1997 гг. и последующего уменьшения к 2005 г. объема стока ВН в эти месяцы. В июне и сентябре долях от общего годового стока ВН почти не изменяется, а в июле, августе и октябре растет.

При этом сток ВН в абсолютном значении во все месяцы снижается. Существенно выделяется на фоне остальных 1993 г. Максимум стока ВН в этот год наблюдается в июле, и превышает сток ВН остальных лет почти в 9 раз. В июне и сентябре этого года сток ВН также выделяется на фоне остальных в большую сторону, при этом сток ВН июня и июля превышают и майские значения всех остальных лет, несмотря на то, что в среднем в мае наблюдаются наибольший сток ВН.

В г. Колпашево максимальный сток ВН также наблюдается в мае – в среднем 46 %,за весь период наблюдений в этом месяце распределение стока ВН повторяет черты многолетних изменений годового стока ВН при снижении доли стока этого месяца от 50 до 40 %. В абсолютных значениях сток ВН снижается во все остальные месяцы. Разброс доли стока ВН здесь выше, чем в с. Дубровино, минимальный сток ВН в сентябре и октябре, 3,7 и 3,8 % соответственно – регулирование стока воды Новосибирским

гидроузлом практически не ощущается. Небольшой рост доли стока ВН наблюдается во все месяцы летне-осенней межени - с июля по октябрь.

Внутригодовое распределение стока ВН в с. Прохоркино - с. Александровское незначительно отличается от г. Колпашево. В апреле, в отличие от вышележащего поста наблюдается рост доли стока ВН. Ярче выражено снижение стока ВН в мае и в абсолютных величинах и в долях от годового стока ВН – с 50 до30 %. В июне доля стока ВН немного снижается, в остальные месяцы в разной степени увеличивается. В абсолютных значениях сток ВН в летние и осенние месяцы, как и в мае, но не в такой степени, снижается, в апреле в среднем, почти не изменяется с выделением трех циклов увеличения-снижения доли стока ВН, разброс значений в последние годы стабилизировался.

За период свободного русла по хронологическим графикам наблюдается тенденция уменьшение расходов воды, наносов и мутности по всем рассматриваемым постам в половодье – в мае и июне. Таким образом, одна из причин снижения среднемесячных расходов и стока ВН является снижение среднемесячных расходов воды в эти месяцы и, как следствие снижение размывающей способности потока, что способствует уменьшению мутности.

В с. Дубровино в летне-осеннюю межень (июль-октябрь) расходы ВН уменьшаются за счет уменьшения мутности, при относительно стабильных и несколько повышенных расходов воды. Это говорит о том, что расходы ВН уменьшаются в большей сере за счет уменьшения мутности. Связь расходов воды и расходов наносов ощущается, но не является приемлемой.

В г. Колпашево наблюдается уменьшение расходов воды и расходов ВН, наиболее интенсивное снижение происходит как в половодье, так и в межень за исключением расходов воды в апреле. Связь между расходами воды и расходами наносов лучше, чем в с. Дубровино - коэффициент детерминации от 0,4 до 0,7. Мутность уменьшается во все месяцы, в том числе и в апреле, что объясняет уменьшение расходов взвешенных наносов при устойчивых расходах воды.

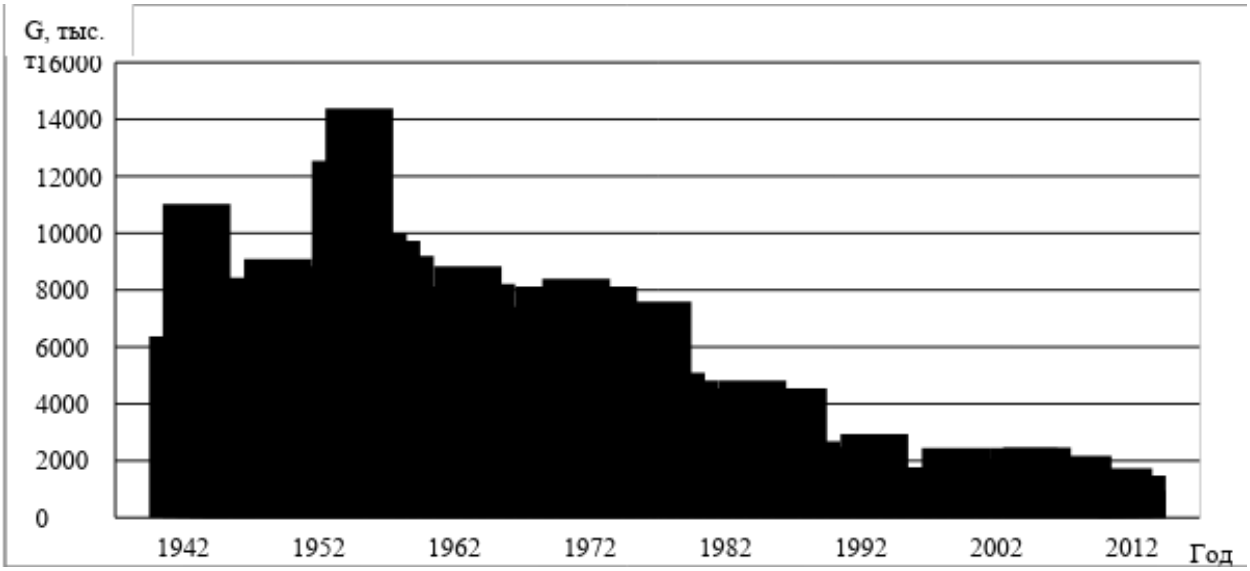


Рис. 1 Хронологический график стока наносов р. Обь г. Колпашево в мае за период с 1942-2015 гг.

В с. Прохоркино - с. Александровское в апреле среднемесячные расходы воды увеличиваются интенсивнее, чем в г. Колпашево, увеличиваются также и расходы, ВН и

мутность. В остальные месяцы половодья (май, июнь) так же как в г. Колпашево уменьшаются расходы воды и расходы взвешенных наносов, но расходы взвешенных наносов снижаются более интенсивно. В летнюю межень расходы воды снижаются менее интенсивно, но расходы ВН так же снижаются за счет уменьшения мутности. Связь между расходами воды и расходами наносов слабая.

Выводы

Рассматривая внутригодовое распределение стока ВН реки Обь за многолетний период можно сделать вывод о снижении стока ВН в мае на всем ее протяжении и об определяющем влиянии стока ВН за этот месяц на годовой сток ВН. Неоднозначно меняется сток ВН апреля по длине реки – в верхнем створе доля стока этого месяца уменьшается, а в среднем и нижнем створе увеличивается, что может быть связано со смещением сроков начала половодья и увеличения водности этого месяца. Июньская доля стока ВН, также высокая от общего годового стока ВН, напротив, в верхнем створе несколько увеличивается, в среднем створе почти остается без изменений, в нижнем створе немного падает. Доля стока всех месяцев летне-осенней межени с июля по октябрь увеличивается по всем постам на р. Оби.

В абсолютных значениях среднемесячные расходы ВН во всех створах снижаются во все периоды водности, несмотря на некоторое повышение водности некоторых месяцев. Исключением оказался апрель в нижнем створе – здесь увеличиваются все три показателя: расходы воды, расходы ВН и мутность.

Список литературы

Мельникова Я.А. Вершинин Д.А. Оценка многолетнего перераспределения стока взвешенных наносов рек Томской области // Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: Матер. IV Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием. Том 1. Томск: Томский государственный университет, 2017. – С. 377-381.

Intra-annual distribution of runoff of suspended sediments of the Ob River within the Tomsk Oblast and its long-term changes

Melnikova J.A.*, *Vershinin D.A.
National research Tomsk State University, Tomsk, Russia
yaroslava5515@list.ru

Abstract: A study was made of the annual runoff of suspended sediments of a large transregional river in the Tomsk Region, one of which flows in and out of the territory of the Tomsk Oblast, the Ob River. General tendency has been found to reduce the annual runoff of suspended sediments during the last 70 years. As a result of the analysis of the intra-annual distribution of runoff of suspended sediments, a decrease in the proportion of runoff in high water and an increase in the low water level was revealed.

Keywords: suspended sediment, trans-regional river, intra-annual distribution.

Оценка величин перехвата дождевых осадков хвойными породами лесов Урала

***Остахова А.Л.*, Клименко Д.Е.**
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь
grenkazlak@mail.ru

Аннотация: Авторами выдвигается гипотеза о том, что влага удерживается на листовой поверхности в плёночном и капельном видах. При этом величина максимального водоудержания не может быть определена только видовым составом пород древостоя, а она определяется индексом листовой поверхности конкретных пород, зависящим от таксационного запаса, возраста и класса бонитета лесов.

Собственные экспериментальные работы авторов касались параллельных наблюдений над жидкими осадками под кронами деревьев и на открытой местности; экспериментов по искусственному увлажнению хвои (путем дождевания и полного намачивания) с оценкой величины максимального водоудержания аналитическим весовым способом; подсчетов площадей, масс и объемов листовой поверхности анализируемых образцов ветвей хвойных пород Урала; экспериментов по определению краевых углов смачивания при разном наклоне хвоинок; предельного угла смачивания при начале движения капли по поверхности хвоинки; максимальных масс капель, находящихся на хвое. Методика производства экспериментальных работ разработана непосредственно авторами статьи на основе представлений о физической сущности удержания воды поверхностями сложной геометрической формы.

Установлено, что эффективная оценка перехвата осадков растительностью не может быть получена на основе интегральных коэффициентов, а должна опираться на результаты лесотаксационных, геоботанических и водобалансовых исследований, выполняемых индивидуально для лесообразующих пород расчетных водосборов.

Ключевые слова: перехват осадков; хвойные породы Урала; индекс листовой поверхности; моделирование водоподачи под полог леса; дождевые осадки

Введение

Расчет начальных потерь стока ливневых и дождевых паводков имеет важное практическое значение. Параметры ливней непосредственно входят в инженерные методы расчета стока дождевых паводков, поэтому ясна важность проблемы расчета начальных и установившихся потерь осадков на водосборе. Количественная характеристика ливней, названная кривыми редукции («теоретический профиль ливня), вошла в теорию и практику гидрологических расчетов как основная.

Удержание жидкости на поверхности хвои и ветвей древесных пород хвойных древостоев обеспечивается за счет поверхностных энергий на границе раздела фаз твёрдое тело-газ, жидкость-твёрдое тело и жидкость-газ. В случае однонаправленного действия сил тяжести и равнодействующей сил адгезии и когезии (капля лежит на поверхности хвои) капля воды растекается по поверхности и образует своеобразную «пленку». Степень смачивания поверхности жидкостью в этом случае определяется краевым углом смачивания θ – это угол, который образуется между касательной, проведённой к поверхности фазы жидкость-газ и твёрдой поверхностью с вершиной, располагающейся в точке контакта трёх фаз, и условно измеряемый всегда внутрь жидкой фазы.

Методы производства экспериментальных работ

Наличие воскового покрытия на поверхности хвои приводит к тому, что жидкость на поверхности образует менискообразные капли, а сама поверхность хвойных является гидрофобной и характеризуется краевым углом от 45 до 90°.

Эксперименты по определению максимального объема водоудержания кронами хвойных пород проводились по ряду направлений:

- параллельные наблюдения над дождевыми осадками под кронами деревьев и на открытой местности;
- определение аналитическими весовыми методами массы воды, задерживаемой хвоей на опытных ветвях при их искусственном дождевании (опрыскивании водяной пылью), с одновременным определением площади листовой поверхности анализируемых образцов;
- оценка размеров капли и краевых углов капли путем фотографирования капель с большим увеличением.

В связи с тем, что большая часть жидких осадков кронами хвойных древостоев удерживается на хвое, важнейшим этапом работ в оценке перехвата осадков кронами является определение биометрических показателей хвойных древостоев и отдельных деревьев, важнейшими среди которых являются:

- величина фитомассы на 1 га (без учета величины таксационного запаса древесины и массы ветвей (F_1, т/га);
- площадь листовой поверхности (суммарная площадь односторонней поверхности хвои или листьев) (LAI, га/га);
- количество и средние размеры листьев и хвоинок.

Определение индексов листовой поверхности LAI, удельных площадей листовой поверхности SLA производится на основе базы данных и эмпирических зависимостей, выявленных Институтом лесоведения РАН (Онучин А.А., 2003). В целом, оценка площади листовой поверхности производится либо на основе величины фитомассы, либо на основе величины таксационного запаса. Оценка фитомассы (F_1) и индекса листовой поверхности (LAI) одного дерева в хвойном древостое производится на основании оцененных величин фитомассы и количества деревьев на 1 га.

Результаты и направления их использования

Величины перехвата осадков хвойными породами варьируют от 1,7 до 5 мм, а единичное дерево может удерживать от 7,5 до 58 литров, в зависимости от породы и таксационных характеристик. По данным наблюдений на метеостанции Екатеринбург и результатам таксационных подсчетов на ближайшем экспериментальном водосборе (р. Решетка) установлено, что ливневые осадки 1%-й обеспеченности интенсивностей за первые 5-20 минут дождя полностью перехватываются кронами, за последующие 20-90 минут перехватывается около 50% суммы осадков, выпавших за это время. Дальнейшие потери осадков на кронах следует считать устранившимися на уровне 7% от суммы осадков выпадающих за 10-минутные интервалы. Данные потери связаны с испарением удерживаемой влаги с общей площади листовой поверхности крон, превышающей проекционную площадь в 14-20 раз.

Установлено, что перехват жидких атмосферных осадков определяется их количеством, интенсивностью, погодными условиями (температура, влажность воздуха, скорость ветра), характером лесной растительности, задерживающей на своей поверхности определенную часть осадков, а так же таксационными характеристиками древостоев, такими как масса крон, хвои, индекс листовой поверхности, бонитет и т.п.

По результатам наблюдений в естественных и лабораторных условиях установлено, что при постоянном притоке осадков на фитомассу хвойных пород (на отдельные хвоинки) капли начинают двигаться к нижней части хвои. Иными словами, капли воды удерживаются в нижней части поперечного сечения хвои.

Для еловых пород I-II класса бонитета, возрастом 60-80 лет теоретическая масса одной капли составляет 12,9 мг. В ходе экспериментальных исследований масса капли, приходящейся на одну хвоинку, изменяется от 9 до 18 мг. Движение капель начинается при краевых углах от 60 до 100°.

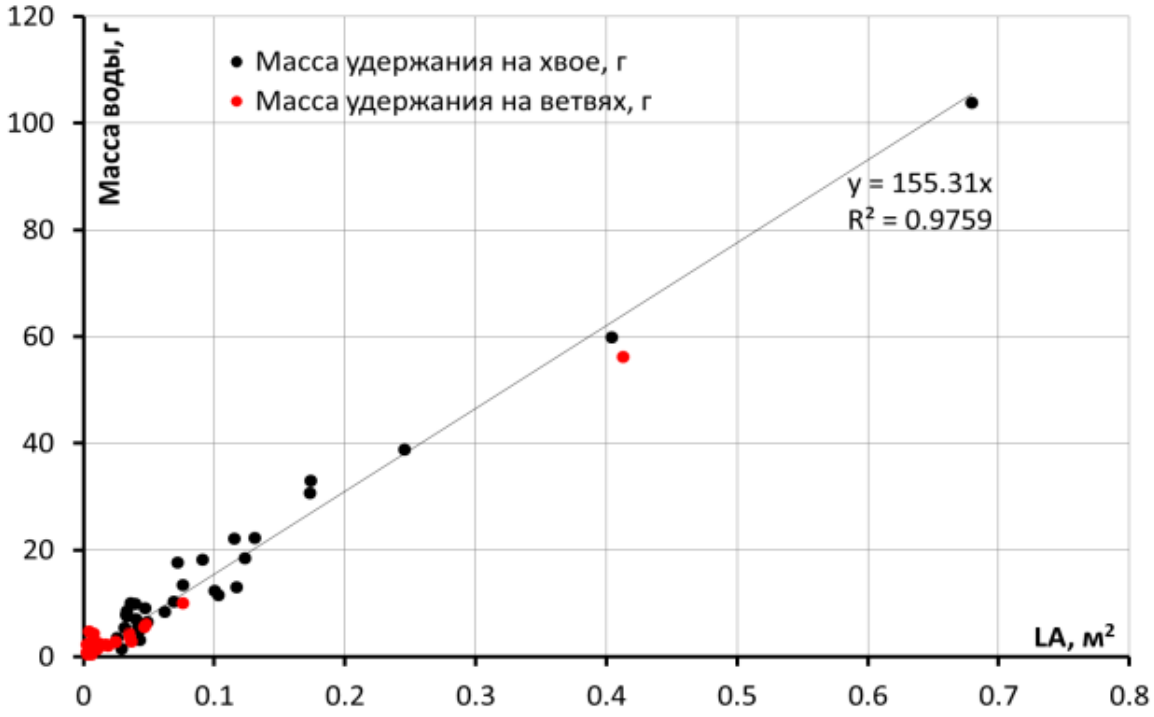


Рис. Эмпирическая зависимость массы удерживаемой на хвое воды (m, г) от площади листовой поверхности хвойных (LA, м²)

Таким образом, водоудержание жидких осадков кронами хвойных пород происходит только за счет воды, находящейся в капельном виде на хвое и за счет смачивания ветвей.

На основе экспериментов по искусственному орошению ветвей получена эмпирическая зависимость массы перехватываемой дождевой воды от площади листовой поверхности в диапазоне площадей листовой поверхности от 0 до 0,8 м^2 (рисунок).

На основе полученной зависимости выполнена оценка расчетной (вероятной) максимальной массы удерживаемой воды единичными деревьями отдельных хвойных пород (для II класса бонитета, возраст пород – 100 лет, сомкнутость древостоя 0,8) (таблица).

Табл. Расчетная масса максимально возможного удержания дождевых вод на кронах пород II класса бонитета, возраст пород – 100 лет, сомкнутость древостоя 0,8 (древостои Урала)

Порода	F_1, т/га	LAI, м^2/м^2	Sпроекц., м^2	LA, м^2	m, кг	h перехвата, мм
Пихта	15.1	8.30	12.0	99.6	15.5	1.3
Ель обыкновенная	21.9	13.1	12.6	165	25.6	2.0
Сосна обыкновенная	23.1	11.0	11.2	123	19.1	1.7
Сосна сибирская	11.5	4.48	13.0	58.2	9.04	0.7

Натурные эксперименты по наблюдению над осадками под кронами хвойных, проводившиеся в октябре 2017 г., показали, что кроны еловых деревьев (60 лет, II класс бонитета) могут перехватывать 2-4 мм осадков.

По результатам таксационных расчетов, выполненных для водосбора р. Решетки (Свердловская область), установлено, что водосбор покрыт сосновым лесом возрастом 80-100 лет, средней высотой деревьев 22 м, полнотой насаждения 0,5, количеством деревьев на 1 га 340. Это соответствует II классу бонитета.

Но основании разработанных авторами параметров модели перехвата рассчитана кривая хода дождя (интегральная) с учетом перехвата осадков кронами и испарения с поверхности крон. На водосборе момент начала поступления осадков на поверхность задерживается на 2-2,5 часа по сравнению с открытой местностью, а суммарное количество осадков за дождь под пологом леса оказывается на 17% ниже, чем на открытой площадке.

Список литературы

Онучин А.А. Влагооборот горных лесов Сибири (локальные и региональные особенности). Диссертация на соиск. уч. ст. доктора биол. наук. Красноярск, 2003г.

Рахманов В.В. Лесная гидрология: Обзор // Итоги науки и техники. Сер. лесоведение и лесоводство. М., 1981. 181 с.

Чубатый О.В. Водоохронні гірсьлі ліси. Ужгород: Карпати, 1972. 119 с.

Estimation of the values of interception of rainfall by coniferous species in the forests of the Urals

Ostakhova A.L., Klimenko D.E.
Perm State National Research University, Perm, Russia;
grenkazlak@mail.ru

Abstract: The authors put forward a hypothesis that moisture is retained on the sheet surface in the film and drip views. The magnitude of the maximum woodengine not can only be determined species composition of the forest species, and it is determined by the leaf area index of a particular species that depend on forest reserves, age and class of bonitet forests (Rakhmanov V.V., 1981; Chubatyy O.V., 1972).

Experimental work of the authors concerned concurrent observations of liquid precipitation under trees and in open areas; experiments on the artificial hydration of the needles (by sprinkling and full soaking) with the estimate of the maximum weight woodengine analytical method; calculations of areas, masses and volumes of the leaf surface analyzed samples of the branches of the conifers of the Urals; of experiments to determine the contact angle of wetting at different inclination of the needles; limiting angle of wetting at the beginning of the drop motion on the surface of the needles; the maximum mass of blobs that are on the needles. The method of experimental work is developed directly by the authors on the basis of ideas about the physical essence of water retention surfaces of complex geometric shapes.

It is established that the effective assessment of precipitation interception by vegetation cannot be obtained on the basis of integral coefficients, but should be based on the results of forest-packing, geobotanical and water-balance studies performed individually for forest-forming species of settlement catchments.

Keywords: interception of precipitation; coniferous rocks of the Urals; leaf surface index; modeling of water supply under the forest canopy; rainfall

Оценка пространственно-временной изменчивости характеристик водного режима Алтае-Саянского региона

***Осташов А.А.*, Соловьев В.А., Пряхина Г.В.**
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
andrey.ostashov@gmail.com

Аннотация: Для территории Алтае-Саянского региона была проведена оценка трендов среднегодовых, минимальных зимних и максимальных расходов воды половодья за период с 1965 по 2014 гг. Расчет величины и значимости трендов показал, что изменение среднегодовых расходов воды носят разнонаправленный характер. Однако можно выделить районы с значимой тенденцией к повышению среднегодовых расходов воды, такие как бассейн реки Кан и верховья реки Абакан. Максимальные расходы воды половодья имеют общую тенденцию к снижению, за исключением верховьев рек Катунь и Абакан, где изменения разнонаправленны и незначительны. Для минимальных расходов воды картина достаточно однородна, для всего района исследования минимальный зимний сток за исследуемый период увеличивается. В работе также были оценены тренды среднегодовых температур, годовых сумм осадков и максимальной толщины льда. По результатам построены совмещенные карты.

Ключевые слова: Изменение климата, изменение стока, величина тренда, расход

Введение

Изменения речного стока, являющегося интегральным показателем современного функционирования природных систем, отражают реакцию последних на внешние воздействия как природного, так и антропогенного характера. Отмечаемые в России климатические изменения на территории юга Сибири проявляются в потеплении в среднем на 0.6 ºС/10 лет, в первую очередь за счет повышения зимних температур, на фоне незначительного роста атмосферного увлажнения (Платова, 2007). Каждая горная система в зависимости от гипсометрических и орографических особенностей, положения по отношению к влагонесущим воздушным массам формирует своей уникальной отклик на климатические изменения, что требует проведения детальных региональных исследований. Цель настоящего исследования — выявление тенденций изменения характеристик стока рек Алтае-Саянского региона за последние полвека, а также факторов, обусловливающих изменения годового, минимального зимнего и максимального весеннего расходов воды.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были отобраны 136 гидрологических постов на территории Алтае-Саянского региона (рис. 1) с периодом наблюдений с 1965 по 2014 гг. В работе использовались ряды средних годовых, минимальных зимних и максимальных половодных расходов воды. Для последующего анализа были использованы данные о среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков, а также максимальной толщины льда.

Для оценки однородности рядов гидрологических наблюдений в работе были использованы критерии Смирнова-Граббса и Диксона, которые применяются для оценки статистической значимости однородности резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении при уровне значимости 5% (ГГИ, 2010).

Проверка стационарности ряда производился по критериям Стьюдента и Фишера (ГГИ, 2010).

Значимость трендов оценивалась с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла (ГГИ, 2010).

Процесс построения карт величин трендов состоял из нескольких этапов. Работа над картой производилась в программе ArcGIS 10.2. Сначала для исследуемых постов были выделены водосборы при помощи пакета инструментов Hydrology tools. Для оценки точности выделения водосборов были рассчитаны площади выделенных водосборов, которые потом сопоставлялись с данными из гидрологических ежегодников. Для сильно отличающихся значений были уточнены координаты местоположения поста и повторно выделены водосборы.

После выделения водосборов были рассчитаны координаты центра тяжести каждого водосбора. Значения величин трендов относились к центру тяжести водосбора.

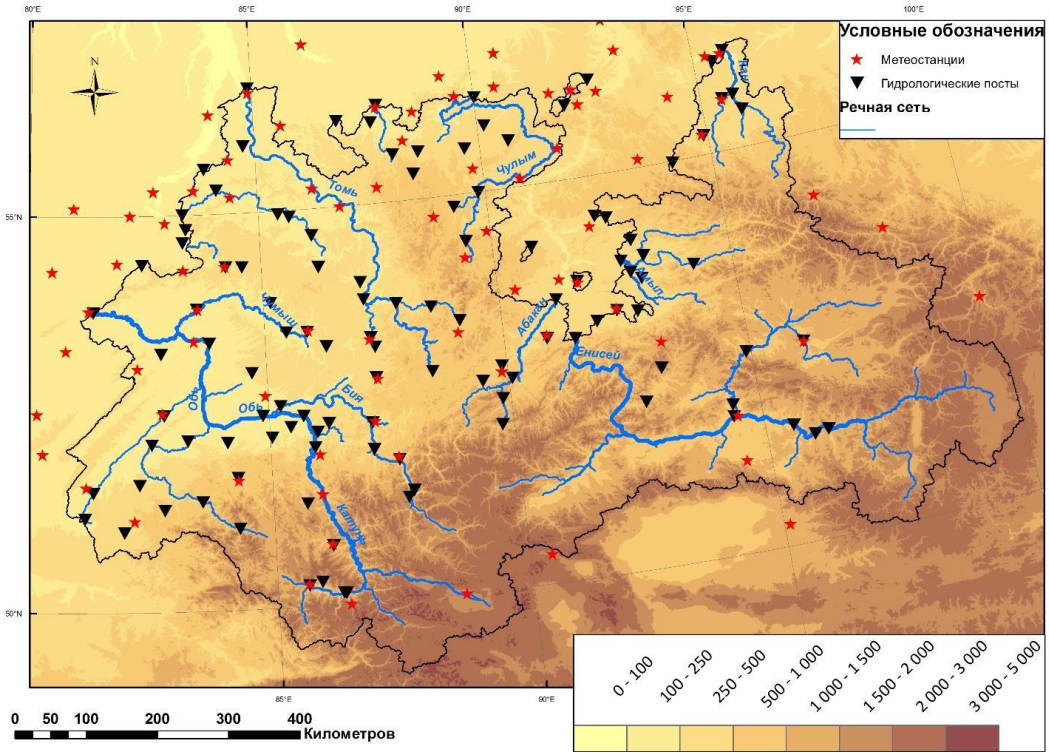


Рис. 1 Карта района исследования

Результаты

Расчет величины и значимости трендов рядов среднегодовых расходов воды, выполненный для 108 постов показал, что для 59 из них наблюдается тенденция к увеличению стока (верховья Абакана и бассейн реки Кан), а для 49 – к уменьшению. При этом тренд оказался статистически значимым в 21 случае.

Максимальные значения величины трендов зафиксированы для р. Большая Уря - с. Малая Уря (3,47 %) и р. Кунгус - с. Ильинка (4,69 %).

Оценка величины трендов рядов максимальных расходов воды половодья по 112 постам исследуемого района показала, что в 18 случаях была выявлена положительная тенденция, а в 94 – отрицательная, при этом в 44 случая тренды оказались статистически значимыми.

К районам с наибольшими значениями отрицательных трендов относятся междуречье Чулыма и Томи, а также верховья Енисея до слияния Большого Енисея с Малым Енисеем. В верховьях реки Катунь изменения величины тренда не значительны, а для верховьев Абакана есть некоторая тенденция к повышению.

В случае рядов минимальных зимних расходов воды тренды оказались положительными в 97 %, из них статистически значимы -76 %. Пространственный анализ показывает, что на территории всего Алтае-Саянского региона минимальный зимний сток увеличивается.

Табл. 1 Сводная таблица об итогах статистических проверок и результатах расчета величин трендов

	средние	максимальные	минимальные
количество рядов	108	112	109
опровергается гипотеза об однородности	43	55	38
опровергается гипотеза о стационарности	25	59	63
положительно значимые тренды	15	0	76
отрицательно значимые тренды	6	44	0

Выводы

Оценка тенденций изменения характеристик речного стока Алтае-Саянского региона показала, что изменения годовых расходов воды за исследуемый период имеют разнонаправленный характер с преобладанием трендов на увеличение (в среднем на 0,31 %/10 лет).

Тенденции изменения максимальных расходов воды весеннего половодья в целом имеют однонаправленный характер. В большинстве случаев наблюдается уменьшение максимальных расходов воды половодья (в среднем -1,36 %/10 лет).

Во всем регионе отмечен интенсивный рост минимального зимнего стока (в среднем 2,63 %/10 лет). При этом в большинстве случаев был отмечен статистически значимый тренд к уменьшению толщины льда.

Анализ трендов годовых сумм осадков показал, что в горной части региона либо имеет место тенденция к уменьшению осадков, либо она отсутствует. Для исследуемого региона в целом с увеличением широты наблюдается тенденция к увеличению годовых сумм осадков, что по-нашему мнению, повлияло на увеличение среднегодового стока для водосбора реки Кан, так как истоки рек этого бассейна находятся севернее, чем у большинства рек региона.

Величины трендов среднегодовых температур увеличиваются с запада на восток, наибольший рост наблюдается в верховьях Енисея до слияния Большого Енисея с Малым Енисеем.

Преобладающие тренды максимальных расходов воды половодья могут быть связаны преимущественно с повышением зимних температур воздуха и сокращением холодного периода года, за счет которого формируется снежный покров.

Отмечена связь между ростом минимальных зимних расходов воды и уменьшением максимальной толщины льда. Так, согласно (Боревский и Марков, 2014) снижение толщины льда приводит к увеличению пропускной способности русла, и, следовательно, к увеличению минимальных расходов воды. Можно заметить, что для реки Ирба наиболее выражено увеличение минимального зимнего стока с уменьшением толщины льда. А для реки Матур картина другая, не значительно растет максимальная толщина льда и, соответственно, практически не изменяется минимальный зимний сток.

Список литературы

Платова Т.В. Климатические изменения некоторых характеристик температурного режима на территории России // Проблемы эколог. мониторинга и моделирование экосистем, СПб, Гидрометеоиздат, 2007, т.21, с.146-159.

Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. ГУ ГГИ. 2010 г.

Боревский Б.В., Марков М.Л. «Является ли меженный расход рек мерой питания подземных вод или общего подземного стока?» // Разведка и охрана недр, 2014, стр. 10-16

Assessment of spatial and temporal variability of the characteristics of the water regime of the Altai-Sayan region

Ostashov A.A., Solovyev V., Pryakhina G.V.
St. Petersburg State University, St. Petersburg
andrey.ostashov@gmail.com

Abstact: For the territory of the Altai-Sayan region, the assessment of change of the reference water discharges owing to climate change was made. Initial ranks of average annual water discharges, minimum winter water discharges and peak discharges of water of the high water were estimated on a stationarity and homogeneity. Calculation of size and a significance of trends of the considered sizes was made. Results of the research showed that change of average annual water discharges are diverse and are not significant. However, it is possible to distinguish areas with explicit increase in average annual water discharges. Peak discharges of water of the high water have the common tendency to decrease, except for some regions where changes are multidirectional and insignificant. For minimum water discharges, the picture is rather uniform - for all area of the research, the minimum winter discharges increases. In addition, the combined maps of sizes of trends of average annual expenses and average annual temperatures, average annual expenses and the annual sums of rainfall and minimum winter expenses, and the maximal thickness of ice according were created to which the analysis of the received results was made.

Keywords: Climate change, flow change, the magnitude of the trend, discharge

Озера дельты реки Селенги

***Павлов М.В.*, Ильичева Е.А., Кобылкин Д.В.**
Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск
maksimpavlov_v@mail.ru

Аннотация: Дельта реки Селенги представляет собой открытую динамическую эрозионно-аккумулятивную систему, развивающуюся под действием гидроклиматического, уровенного и тектонического факторов. Площади занимаемой различными типами озер в среднем принадлежит около 10% дельты, что соответствует 60 км2. Количество и площадь озер непостоянна в различных частях дельты и во времени. В исследовании рассматриваются озера субаэральной части дельты, ограниченной с материковой части бровками плейстоценовых речных террас, береговой линией и субаквальной части - соры, отделяемые от озера Байкал цепью песчаных подводных баров.

Исследование внутридельтовых озер проведено на основе ретроспективного анализа картографического материала на временные срезы 1956, 1984, 1998 годов и космоснимков высокого разрешения 2011 года съемки, и современных ортофотопланов, полученных с беспилотного летательного аппарата на ключевые участки. Проведены натурные наблюдения (2003-2017 гг.), включающие морфометрические работы, исследование литологии, мощности и возраста донных осадков, гидрохимическое опробование вод в котловинах отдельных озёр. Работа тесно связана с изучением русловой сети, наблюдениями за стоком, анализом эрозионно-аккумулятивных процессов, выраженных в плановых смещениях русел и изменении отметок продольного профиля и абсолютных отметок поверхности дельты, а также пространственно-временным изменением береговой линии озёрного края дельты. В результате исследования произведена генетическая систематизация внутридельтовых озёр. Выделены тектонические озера, старичные озёра пойм и высоких межрукавных пространств, сезонные речные старицы, лагуны, лиманы (соры), а также подпрудные эоловые озёра и техногенные озёра, образованные в карьерах или в результате подпора дорогами и берегозащитными сооружениями. Определена гидравлическая связь озёр с речной сетью, выделены сточные, бессточные и озёра с перемежающимся стоком. Показана закономерность расположения различных генетических типов озёр на гипсометрических уровнях субаэральной дельты и удаленностью от главного узла бифуркации. Выявлена динамика изменения площади озер дельты за рассматриваемый период и на различные временные срезы. Показана взаимосвязь морфометрических характеристик озёр с уровенным режимом Байкала, водностью Селенги и климатическими событиями в бассейне, а также сделаны выводы о тектонических проявлениях в различных частях дельты.

Ключевые слова: дельта, морфогенез, осадконакопление, старица, лагуна, лиман

Введение

Дельта реки Селенги представляет собой наибольшее по площади и мощности осадков аккумулятивное геологическое тело на восточном побережье оз. Байкал, образованное олигоцен (эоцен)- миоценовыми, несогласно залегающими плиоценовыми, плестоценовыми и голоценовыми осадками, заполняющих Усть-Селенгинскую депрессию, в условиях активного сейсмогенеза. Мощность Усть-Селенгинской толщи по результатам бурения оценивается в 3000 метров. Морфоструктура района создается в неогене разнонаправленными движениями фундамента и наследуется в плейстоцене и голоцене, нарушается сбросами. Выделяют: Кударинскую ступень, Дельтовый прогиб, Истокское поднятие и Калтусный прогиб. (Замараев, Самсонов, 1959). Морфоскульптурные

элементы представлены комплексом средне-позднеплейстоценовых и голоценовых речных террас: Фофановская 75-80 м, Кударинская 10-18 м, Кабанская 2-5 м (Богоявленский, 1970), современной субаэральной дельтовой равниной, авандельтой, ограниченной от озера Байкал цепью подводных баров и заливами тектонического происхождения Черкалов Сор и Провал. В гидроморфологическом плане современная дельта относится к морфодинамическому типу лопастных дельт выдвижения (по Коротаеву и др., 2007). В работе рассматриваются озера, располагающиеся в пределах современной субаэральной озерно-аллювиальной аккумулятивной равнины, и смежных участках дельты реки Селенги.

На происхождение крупных водоемов Черкалов Сор и залив Провал существует две точки зрения – гравитационный тектогенез и уплотнение обводненных грунтов (Зорин, 1956; Уфимцев, 2004) и сброс по унаследованным разломам (Солоненко, 1960; Хромовских, 1965; Лодохин, 1960).

Озера субаэральной дельты достаточно хорошо исследованы с точки зрения химического состава вод в различные сезоны, (Сороковикова, 2016) и донных отложений, в том числе залива Провал и, схожего по генезису, Посольсого сора (Ладохин, 1960; Рогозин, 1993).

Материалы и методы

В работе использован ретроспективный анализ топографических материалов, материалы пояснительной записки к геологической карте, уровенные данные Байкала, а также литературные данные. Для сравнения были выбраны топографические основы (1:100 000) на временные срезы, по состоянию дельты: до создания Иркутской ГЭС, после заполнения и многоводного периода - конец 1970-х годов и ситуацию после многоводного периода начала 1990-х годов. Относительно современный облик дельты отображен на спутниковых снимках осени 2007 и 2011 годов. Наиболее подробные ортофотопланы были получены с беспилотного летательного аппарата на ключевые участки в июле 2017 года. Карты и снимки проведены в единый масштаб, проекцию и Балтийскую систему высот, выполнена оцифровка границ дешифрируемых объектов, получены точки высот.

Гидролого-геоморфологические наблюдения на полустационаре в дельте р. Селенги ведутся сотрудниками ИГ СО РАН более десяти лет. В настоящем исследования использованы материалы батиметрической съемки и донных отложений озер, русловой съемки и продольного профилирования проток дельты с высотной привязкой. В 2011 году получен керн донных отложений залива Провал, в 2017 – озера Хлыстов затон, проведены геохимические исследования и радиоуглеродный анализ осадков.

Результаты

Количество и площадь озер не постоянны во времени и их динамика связана с климатическими периодами водности в бассейне, эрозионно-аккумулятивной деятельностью проток, флуктуацией береговой линии дельты в результате естественных сезонных колебаний уровня Байкала и выдвижения фланговых участков дельты (табл. 1).

Табл. 1 Морфометрические параметры дельты

Параметр	Годы					
	1898*	1956	1986	1998	2007	2011
Площадь субаэральной дельты, км^2	562,9	604,7	602,2	535,2	558	558
Площадь озер, км^2	-	29	29,1	57	50,3	68,5
Длина береговой линии, км	119,7	126,9	132,7	189, 7	160,3	161,5
Густота речной сети, км/км^2	-	0,8	0,73	0,77	-	0,76

*- *материалы Ф.К. Дриженко*

Выдвижение фланговых частей дельты происходит за счет активного развития фитогенных берегов и наносов, поступающих с водами проток. В зоне выдвижения дельты образуется «озерный край» изобилующий лагунными и лиманными озерами, подтопленными устьями, руслами, выходящими в авандельту до 2 км, а также молодыми формирующимися устьевыми барами. Берега озер индицируются тростниками на подводных береговых валах, сложенных неуплотненными обводненными илами и мелким песком. Уровенный режим Байкала в первую очередь влияет на фланговую часть дельты, с отметками ниже 456,5-457,0 метров. С 1898 г. общая площадь дельты увеличивается на 40 км^2 за счет выдвижения устьев проток Лобановская и Селенга (Харауз). При повышении уровня обширные территории затапливаются, и создается подпор для стока вод р. Селенги по протокам, образуются заболоченные территории, а в понижениях рельефа - озера. Снижение уровня приводит к врезанию устьев и осушке территории.

Уровень озера Байкал в рассматриваемый период регулируются режимом работы Иркутской ГЭС, и с 2001 года амплитуда колебания уровня выдерживается в пределах отметок 455,48 - 456,48 м. Однако отмечаются годы с экстремально высокими и низкими уровнями. Топографическая карта 1956 г. составлена с отметками уреза 455,4 м (материалы съемки 1952 г.). В период естественного режима Байкала, максимальный уровень отмечался в 1932 г. - 456,35 и минимальный в 1904 г. - 454,41 м. В результате заполнения Иркутского водохранилища к августу 1962 г. уровень достиг 456,48 м. Высокие сезонные уровни отмечались до 1972 года (456,7 м). Низкие уровни в период зарегулированного режима наблюдались в 1980-82 гг., когда уровень воды снижался до отметок 455,14 - 455,22 м. В период 1985-95 гг. уровень воды поднялся до отметок 456,2 м. Далее происходят незначительные колебания уровня в пределах полуметра. В период с 2015 года по настоящее время в бассейне отмечается маловодье, и уровень Байкала выдерживается на предельно низких отметках.

Уровенный режим озера Байкал во многом зависит от гидролого-климатических условий и аномалий в бассейне, выражающихся в маловодных и многоводных периодах. В бассейне р. Селенги отклонения от среднемноголетнего слоя стока отмечались в период 1959-75 гг., что составило 10 мм и совпало со временем заполнения водохранилища и запуска ГЭС; и 1983-95 гг. -до 30 мм. Длительный подпор вод р.Селенги со стороны Байкала и экстремально большой сток (3500 - 4400 м^3/с в отдельные месяцы), привели к выходу речных вод из русел на поймы и террасы; отложение пойменного аллювия фиксируется серией захороненных почвенных горизонтов в береговых разрезах. С начала 2000 гг. в бассейне наблюдается маловодный период, прерываемый летне-осенними паводками 2012- 13 гг. (расходы в вершине дельты до 3000 м^3/с). Средний годовой сток в 2003-2011 гг. уменьшился до 612 м^3/с.

Эрозионно-аккумулятивная деятельность проток дельты активизируется в периоды экстремальных значений водности. В многоводные годы наблюдаются резкие изменения плановых положений русел, образование новых проток и отмирание старых. Старичные озера дельты развиты повсеместно на отметках 457-459,5 метров. Различаются сезонные, пойменные и старицы высоких террас и в понижениях гривового рельефа на внутренних участках излучин. На поверхности Кабанской террасы (460-465 м) старичные озера образованы в понижениях палеопротоков и вееров блуждания. Здесь отмечаются подпрудные озера, образованные эоловыми пересыпями и гравитационно-склоновыми процессами, перегораживающими небольшие водотоки. Вдоль протоки Левобережная встречаются озера, образованные берегоукрепительной дамбой и выходом грунтовых вод. Современные тектонические проявления в Среднеустьевском секторе выявляются по результатам продольного профилирования проток дельты (2006-17 гг.) и отражаются в выполаживании уклонов русел и смещении береговой линии сектора вглубь дельты,

увеличении площади озер, что может говорить о медленном опускании этого участка дельты (рис.1).

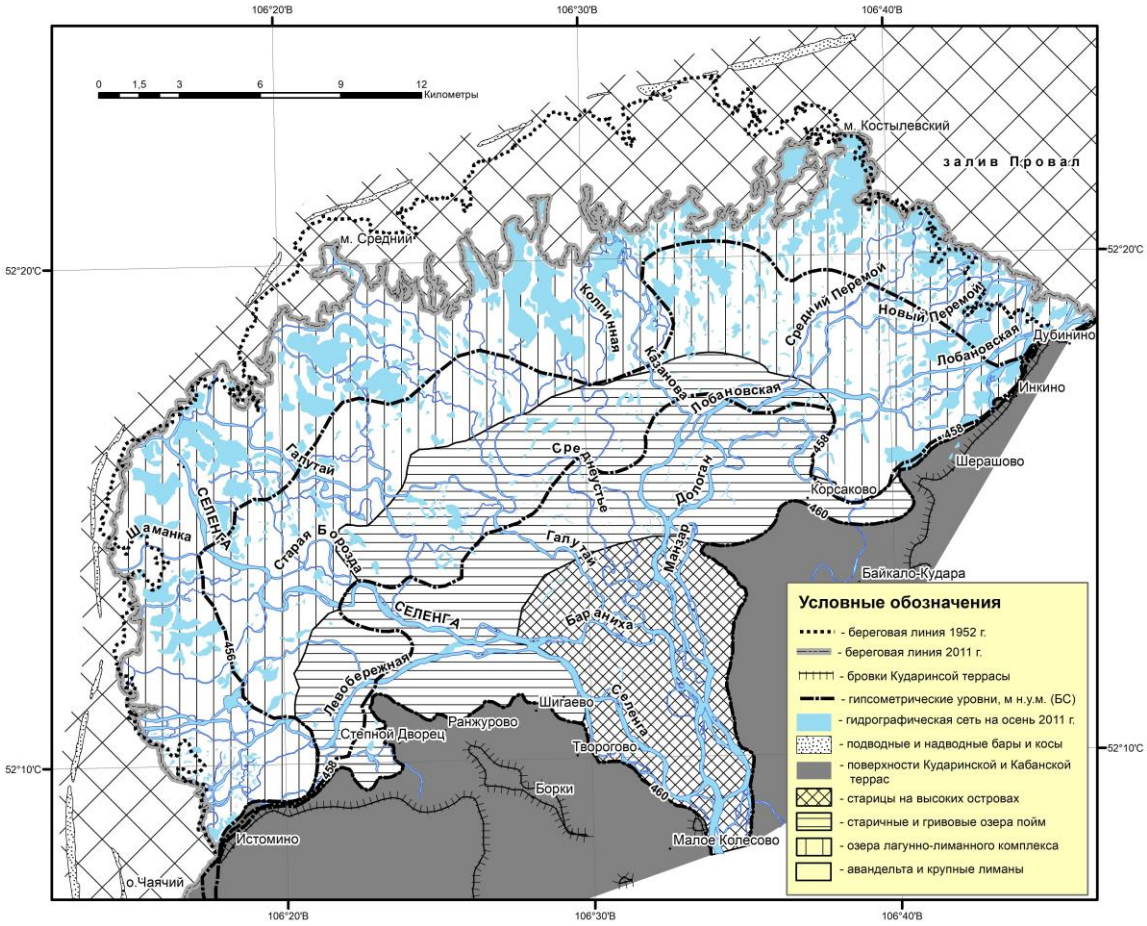


Рис.1 Генетические типы озер устьевой системы р. Селенги

Заливы Провал и Черкалов Сор представляют собой лагуны тектонического происхождения. Произведено сравнение положения абсолютных отметок дна с лоциями 1898 и 2013 гг. для залива Провал. В среднем отметки дна повысились по всей площади залива на 1-1,5 м. Максимальное повышение отметок приурочено к устьевой области протоки Лобановская и в районе мыса Облом. Площадь залива уменьшилась на 20 % и сейчас оценивается в 164 км^2. Подводные бары, окаймляющие акваторию, сместились на расстояние около 2 км вглубь залива, береговая линия дельты выдвинулась в залив более чем на 1,5 км. Изменилась и береговая линия залива за счет абразионно-аккумулятивной деятельности волн и повышения уровня Байкала. При сравнении батиметрических данных выявились амплитуды положений подводных форм рельефа. Косы и бары перемещаются на расстояние до 300 м в зависимости от сезонных и годовых изменений уровня озера Байкал. Неоднородность залегания донных осадков по дну залива показывает различные типы осадконакопления. Илы и мелкозернистые осадки формируются за счет стока проток дельты и отлагаются в придельтовой акватории. Разнозернистые пески и алевриты приурочены к центральной части залива и распространены вплоть до мыса Облом и подводных валов. В прибрежной материковой части отлагаются грубозернистые осадки от песков разнозернистых до гальки. Мощность осадков по колонке составляет 1,3 м, что соответствует результатам сравнения данных батиметрии. Основной материал поставляют водные массы пр. Лобановской, так, по данным за период экспериментальных

наблюдений, средний объем наносов составляет 0,2-1,7 млн т/год за период открытой воды.

Воды водоемов дельты и прилегающих акваторий относятся к гидрокарбонатном классу группы кальция, однако различаются по концентрации и ионному составу (Сороковикова и др., 2016), что связано с водообменом с протоками р. Селенги и водами Байкала. По проточности и, следовательно, по химическому составу вод, озера следует разделить на 4 основные группы. *Крупные лиманы* Черкалов Сор и Провал, имеющие связь с Байкалом и Селенгой, средняя минерализация которых составляет 117 мг/л. *Непостоянные озера в краевой части выдвижения дельты*, с подтопленными берегами. Так, в оз. Некипеловском содержание главных ионов, их сумма и внутригодовая динамика близки к таковым в воде Селенги. *Озера невысоких пойм* (до 1м), имеющие сезонную гидравлической связь с протоками дельты; оз. Семеновское в весенне-осенний период минерализация вод колебалась от 123 до 228 мг/дм^3. *Озера, не имеющие связи с рекой*, питание которых осуществляется за счет атмосферных осадков и грунтовых вод: оз. Хлыстов Затон минерализация составляла 100 до 743 мг/дм^3 (Сороковикова и др., 2016).

Особое место среди стариц дельты занимают озера на высоких островах (до 3 метров), сохранившихся в центральной части. Группа островов (Солдатский, Березовый, Горбун, Бурлаков) разбивает основной поток р. Селенги на Лобановское и Селенгинское. Абсолютные отметки на островах находятся в пределах 459-460 метров. На поверхности островов сохранились веера блуждания, гривовый рельеф, и палеорусла относительно древней русловой сети дельты, угадываемые по кустарниковой растительности. Некоторые русла используются современной речной сетью в периоды большой водности. Озеро Хлыстов Затон имеет 650 метров в длину и 60 в ширину и вытянуто полумесяцем с юга на север. Глубина озера около 1-2 метра. Озерные осадки, представлены илом с разной степенью разложения органических остатков с прослоями песка мелкозернистого. Озерные отложения перекрывают гравийно-галечную русловую фацию на глубине 329 см. Контакт озерной и русловой фаций расположен на 1,7 м ниже дна современной протоки. Толщу озерных осадков подстилает русловой аллювий, представленный мелкой и средней галькой хорошей окатанности с гравием и илом. Калиброваный возраст (календарный) основания керна 1940±100 кал. лет. Таким образом, на островах сохранились реликты русловой сети, существовавшей около 2000 лет назад.

В целом динамика различных генетических типов дельтовых озер является естественным индикатором гидролого-климатических условий, тектонических проявлений и возраста субаэральной дельты.

Исследования проводятся финансовой поддержке гранта РФФИ 17-29-05052 офи_м «Экзоморфолитогенез устьев Байкальских притоков на современном этапе гидроклиматического цикла: моделирование и прогноз».

Список литературы

Богоявленский Б.А. Моделирование природы озёрного края Селенгинской дельты, её динамика и прогноз развития // История развития речных долин и проблемы мелиорации земель. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1979. – С.105-128.

Замараев С.В., Самсонов В.В. Геологическое строение и нефтегазоностность Селенгинской депрессии / Геология и нефтегазоностность Восточной Сибири. М.: Гостоптехиздат, 1959, С. 465-474.

Зорин Л.В. Формирование дельты Селенги и образование залива Провал // Уч.зап. МГУ. Сер. Геоморфол.- М., 1956. - Вып.182. - С.193-196.

Иванов В.В., Коротаев В.Н., Лабутина И.А. Морфология и динамика дельты р.Селенги // Вестн.Моск.ун-та. Сер.5. География, 2007. - №4. - С. 48-54.

Корытный Л.М., Ильичева Е.А., Павлов М.В., Амосова И.Ю. Гидролого-морфологический подход к районированию дельты р.Селенги // География и природные ресурсы, 2012. - №3. – С. 47-54.

Ладохин Н.П. Современные тектонические движения в заливе Провал и методика их изучения // Изв. АН СССР / Серия географ.- М., 1960. - №1. - С.59-66.

Рогозин А.А. Береговая зона Байкала и Хубсугула. Морфология, динамика и история развития. – Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1993. – 168 с.

Сейсмогеология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья / Новосибирск: Наука, 1981. - С.102–128.

Солоненко В.П., Тресков А.А. Среднебайкальское землетрясение 29 августа 1959 года // Тр. АН СССР. Сиб. Отд-е Вост-Сиб. Геологический институт. Иркутск: Иркутское книжное издательство,1960. – С. 36-37.

Сороковикова Л. М., Синюкович В. Н., Томберг И. В., Поповская Г. И., Башенхаева Н. В., Сезько Н. П., Жученко Н. А.. Химический состав вод и фитопланктон озер дельты реки Селенги // География и природные ресурсы, 2016. - № 3. - С. 78–85

Уфимцев Г.Ф. Загадка залива провал // Наука в России, 2004. - №1. - С. 74-79.

Хромовских В.С. Детальное сейсмическое районирование дельты р.Селенги и прилегающих территорий // Геология и геофизика / Доклады СО АН СССР, 1965. - №6. - С.19-20.

The lakes of the Selenga river delta

Pavlov M.V., Ilicheva E.A., Kobylkin D.V.
V.B.Sochava Institute of Geography SB RAS
maksimpavlov_v@mail.ru

Abstract: The Selenga River Delta is an open dynamic erosion-accumulative system which develops under the influence of hydroclimatic, level and tectonic factors. The area occupied by different types of lakes on the average belongs to about 10% of the delta, which corresponds to 60 km^2. The number and square of the lakes is variable in different parts of the delta and in time. The article examines the lakes of the subaerial part of the delta, bounded by the Pleistocene river terraces, the shoreline of the delta and the subaqueous part of the delta – limans, which are separated from the Lake Baikal by a chain of sandy underwater bars.

The study of intra-deltaic lakes was carried out on the basis of a retrospective analysis of the maps for (1956, 1984, 1998 yr.) and high-resolution satellite images of the 2011 year, and modern orthophotos obtained from a quadrocopter (drone with high resolution camera) for key areas. The field observations (2003-2017 yr.) includes: morphometric studies, studies of lithology, thickness and age of bottom sediments, hydro- and geochemical analysis. The work is closely connected with the study of the channel network, observations of runoff, the analysis of erosion-accumulation processes, expressed in planned displacements of channels and changes in the longitudinal profiles and elevations of the delta surface, and also by the spatiotemporal change in the shoreline of «the delta's lake edge». Genetic systematization of the lakes was carried out. Tectonic lakes, oxbows of floodplains and high inter-channel spaces, seasonal oxbows, lagoons, estuaries, as well as eolian-dam lakes and lakes formed in quarries or as a result of backwater roads and bank protection structures are distinguished. The hydraulic connection of lakes with the modern river network was determined. The regularity of the location of different genetic types of lakes at the hypsometric levels of the subaerial delta and distance from the main bifurcation node is shown. The dynamics of changes in the area of the lakes of the delta has been revealed since 1956. The interrelation of morphometric characteristics of lakes with the level regime of Lake Baikal, the Selenga water availability and climatic events in the basin, as well as conclusions about tectonic manifestations in different parts of the delta.

Key words: delta, morphogenesis, sedimentation, oxbow, lagoon, liman

Современные изменения гидрометеорологических характеристик в бассейне озера Байкал: особенности и связь с экологическими процессами

Потемкина Т.Г.
Лимнологический институт СО РАН, Иркутск
tat_pot@lin.irk.ru

Аннотация: Впервые проведен комплексный анализ многолетних изменений гидрометеорологических характеристик, способных провоцировать негативные изменения в береговой зоне озера Байкал. Установлено, что наибольшие аномалии гидрометеорологических переменных пришлись на XXI столетие, а годы последнего десятилетия отличались наиболее благоприятными условиями для появления в озере негативных процессов (вспышек массового развития водорослей и водной растительности, гниение их остатков на дне и берегах, изменение в структуре и зональности биоценозов и т.д.). В период продолжающегося глобального потепления влияние климата на процессы в береговой зоне озера требует особого внимания и долгосрочного мониторинга для выявления современных и ожидаемых изменений экологического состояния озера Байкал, а также для более обоснованной их интерпретации.

Ключевые слова: Озеро Байкал, глобальное потепление, климатические факторы, эвтрофикация

Введение

В настоящее время в условиях нестабильности климата и быстро растущего антропогенного прессинга на окружающую среду уже ощущается нехватка питьевой воды на планете. Более 40% водоемов планеты испытывают умеренную или тяжелую эвтрофикацию (United Nations, 2012), которая негативно влияет на качество воды, экологию водной экосистемы в целом, водоснабжение, рекреацию и др. и представляет угрозу крупным водоемам мира – источникам питьевой воды. В последние годы все большее количество исследователей связывает эвтрофикацию пресноводных экосистем с потеплением климата (Posch et al., 2012; Paerl et Paul, 2012; Zhang et al., 2012; Селезнёва и др., 2014; Зайцева, 2014; Cohen et al., 2016). Сигналы эвтрофикации наблюдаются и на Байкале (Kravtsova et al., 2014; Белых и др., 2015; Калюжная, Ицкович, 2015; Timoshkin et al., 2016; и др). В связи с чем, проведен комплексный анализ многолетних изменений наиболее чувствительных гидрометеорологических характеристик (температуры воздуха и воды, атмосферных осадков, ветрового режима, солнечной радиации), способных стимулировать процессы эвтрофикации в береговой зоне Байкала. Анализ важен для будущих исследований, выявления современных и ожидаемых изменений экологического состояния озера Байкал, для более обоснованной их интерпретации, а также для рационального управления водными ресурсами.

Материалы и методы

Материалами для исследований послужили многолетние данные гидрометеорологических наблюдений на 15 станциях сети Росгидромета в бассейне оз. Байкал.

Поскольку проявления процессов эвтрофикации в Байкале отмечены в теплый период (май-октябрь), анализ гидрометеорологических данных проводился за этот сезон на основе временных рядов среднемесячных и средних сезонных значений рассматриваемых переменных: температуры воздуха и средней скорости ветра, температуры воды в

поверхностном слое в прибрежной зоне озера, атмосферных осадков, прямой солнечной радиации.

Аномалии определены как отклонения наблюденных значений от «нормы», за которую принято среднее значение рассматриваемой переменной за 1961 – 1990 гг. Всемирной метеорологической организацией этот период рекомендован в качестве базового для лучшего понимания изменений климата на протяжении этого века и за его пределами, мониторинга и оценки долгопериодных климатических изменений.

Результаты

Наши исследования показали – Байкальский регион более чувствителен к глобальному потеплению, чем климат Земного шара в целом. Скорость роста среднегодовой температуры за период 1976 – 2016 гг. составила для Земного шара +0,17ºС за 10 лет, а для Байкальского региона +0,34ºС/10 лет.

Изменение гидрометеорологических характеристик в Байкальском регионе в теплый период (май-октябрь) за 1976–2016 гг. происходило следующим образом: температуры воздуха росла со скоростью +0,37ºС/10 лет, температура воды в прибрежной зоне озера увеличивалась на +0,39ºС/10 лет, средняя скорость ветра уменьшалась на величину –0,12 м/с каждые 10 лет, значение линейного тренда атмосферных осадков составило –1,2 мм/10 лет. Прямая солнечная радиация на территории Байкальского региона с начала 1990-х гг. отличалась стабильностью, размах ее колебаний находился в пределах ±10% от нормы. В Байкальском регионе наибольшие аномалии рассматриваемых гидрометеорологических переменных в теплый период пришлись на XXI столетие. А последнее десятилетие было наиболее благоприятным для появления в береговой зоне Байкала сигналов эвтрофикации.

Заключение

Современные исследования, модели, прогнозы показывают, что ситуация с воздействием климата на водные экосистемы в будущем сохранится, особенно, когда имеются высокая температура воздуха и воды, уменьшение осадков, ослабление ветровых потоков, продолжительное солнечное сияние. Тогда риски эвтрофирования водоемов увеличиваются, даже если внешние источники загрязняющих веществ становятся стабильными. В период продолжающегося глобального потепления экологические процессы в береговой зоне Байкала без сомнения требуют особого внимания и долгосрочного мониторинга для более глубокого понимания реакции экосистемы озера на изменение климата и выявления механизмов ее функционирования в будущих условиях.

Список литературы

United Nations Environment Programme (UNEP): 5th Global Environment Outlook (GEO-5), 2012, available online: www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5_report_full_en.pdf.

Posch T., Köster O., Salcher M. M., Pernthaler J. Harmful filamentous cyanobacteria favoured by reduced water turnover with lake warming // Nature Climate Change, 2, 2012: 809-813.

Paerl H.W., Paul V.J. Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria // Water Research, № 46, 2012: 1349-1363.

Zhang M., Duan H.T., Shi X.L., Yu Y., Kong F.X. Contributions of meteorology to the phenology of cyanobacterial blooms: Implications for future climate change // Water Research, № 46, 2012: 442-452.

Селезнёва А. В., Селезнёв В. А., Беспалова К. В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья // Поволжский экологический журнал, № 1, 2014: 88-96.

Зайцева Н.В. Проблема развития сине-зеленых водорослей в Воткинском и Ижевском водохранилищах // Современные научные исследования и инновации, № 6, 2014: Электронный ресурс. URL: http://web.snauka.ru/issues/2014/06/36048.

Cohen A.S., Gergurich E.L., Kraemer B.M., McGlue M.M., McIntyre P.B., Russell J.M., Simmons J.D., Swarzenski P.W. Climate warming reduces fish production and benthic habitat in Lake Tanganyika, one of the most biodiverse freshwater ecosystems // PNAS, № 113 (34), 2016: 9563-9568.

Kravtsova L.S., Izhboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Domysheva V.M., Sakirko M.V., Tomberg I.V., Kostornova T.Ya., Kravchenko O.S., Kupchinsky A.B. Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal // J. Great Lakes Res., № 40, 2014: 441-448.

Белых О.И., Гладких А.С., Тихонова И.В., Кузьмин А.В., Могильникова Т.А., Федорова Г.А., Сороковикова Е.Г. Идентификация цианобактерий продуцентов паралитических токсинов моллюсков в озере Байкал и водохранилищах реки Ангары // Микробиология, № 84(1), 2015: 120-122.

Калюжная О.В., Ицкович В.Б. Влияние обесцвечивания байкальской губки на таксономический состав симбиотических микроорганизмов. (Bleaching of Baikalian Sponge Affects the Taxonomic Composition of Symbiotic Microorganisms) // Генетика, Т. 51, № 11, 2015: 1335-1340.

Timoshkin O.A. et al. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? // J. Great Lakes Res., 2016: Available online: http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2016.02.011.

Modern changes of hydrometeorological characteristics in the catchment basin of Lake Baikal: features and communication with environmental processes

Potemkina T.G.
Limnological Institute SB RAS, Irkutsk
tat_pot@lin.irk.ru

Abstract: We performed for the first time comprehensive analysis of long-term changes of hydrometeorological characteristics, which were able to provoke negative changes in the coastal area of the Lake Baikal. The largest number of anomalies of hydrometeorological variables has been recorded in the XXI century. Moreover, the years of the last decade have been the most favorable for emergence of negative processes in the lake (outbreak of mass growth of algae and aquatic vegetation, rotting of their remains at the bottom and on the shores of the lake, changes in the structure of zoning and biocenoses, etc.). In the period of continuing global warming, it is necessary to study the climate effect on the processes occurring in the coastal area of the lake and to carry out long-term monitoring for elucidation of recent and expected changes of the ecological state of Lake Baikal and for their valid interpretation.

Keywords: Lake Baikal, global warming, climatic factors, eutrophication

Факторы формирования стока малых горных рек: региональные особенности и их учет при моделировании

Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Осипова Т.Н., Гаврилкина С.А., Виноградова Т.А.
Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле
elezelepu@gmail.com

Аннотация: В статье предложены подходы к учету локальных факторов стокоформирования для малых среднегорных водосборов верхнего течения Енисея, слабо обеспеченных данными режимных гидрометеорологических наблюдений. На основе анализа имеющихся метеоданных с суточным разрешением получены сезонные плювиометрические градиенты, применение которых улучшило сходимость при модельных расчетах стока.

Разработана схема выделения стокоформирующих комплексов для Западного Саяна. По результатам полевых исследований уточнены характеристики почвенно-растительного покрова, используемые при моделировании стока.

Ключевые слова: моделирование стока, вертикальные плювиометрические градиенты, стокоформирующий комплекс.

Введение

Особенности режима стока горных рек обусловлены значительной пространственной неоднородностью распределения метеорологических элементов, что в свою очередь определяется орографическим, гипсометрическим и морфологическим строением горной системы, ее положением по отношению к преобладающему направлению воздушного переноса, а также характеристиками территории водосборов (диапазон высот, уклонов, экспозиционная контрастность, форма и ориентация речных долин, мозаичность почвенно-растительного покрова и проч.). Недоучет специфики формирования стока в горах в сочетании с недостаточным количеством гидрометеорологических постов и станций снижают степень достоверности результатов расчетов стоковых характеристик горных рек, выполняемых методами, опирающимися на статистическую обработку данных гидрологических постов. Эффективность применения гидрологических моделей в качестве инструмента исследования процесса формирования стока с горных водосборов определяется детальностью учета распределения осадков и температуры с высотой (Борщ и др., 2013; Виноградова и др., 2014), а также учетом локальных факторов, выявление которых возможно только при натурных исследованиях территории.

Для Алтае-Саянского региона проводилось моделирование только среднесезонных значений речного стока (Кирста и др., 2012) и максимальных уровней весеннего половодья для рек верховьев Енисея с использованием регрессионных моделей (Бураков и др., 2006; 2012).

Целью настоящего исследования является выявление региональных особенностей формирования стока с малых горных водосборов и их учет при создании информационной базы для моделирования стока среднегорий юга Сибири.

В качестве модельных объектов были выбраны водосборы рек Амыл и Ус (бассейн р.Енисей), характеризующие условия формирования стока северного и южного макросклонов хребта Западный Саян. Площадь водосборного бассейна р. Амыл (до гидропоста Качулька) составляет 9850 км^2 при средней высоте водосбора около 800 м, бассейна р. Ус (до створа Усть-Золотая) – 6110 км^2 при средней высоте 1323 м (рис. 1).

Материалы и методы

Расчеты среднесуточных расходов воды проводились с использованием моделирующей системы с распределенными параметрами «Гидрограф», разработанной

проф. Ю.Б. Виноградовым (2010), показавшей свое успешное применение в различных физико-географических условиях (Виноградов и др., 2011; Hydrograph model….).

Моделирование проводилось для двух случаев: с учетом и без учета вертикальных градиентов.

Выявление региональных особенностей изменения осадков с высотой основывалось на сетевых данных о количестве осадков с суточным разрешением за 1970-1985 гг. по 18 метеостанциям, расположенным на высотах от 248 до 1404 м.

Для выделения группы станций с более тесными корреляционными связями, что необходимо для последующего расчета плювиометрических градиентов, был применен метод кластерного анализа. Все расчеты проводились для сумм осадков за теплый (апрель-октябрь), холодный (ноябрь-март) периоды и за год отдельно для каждого года. Из-за пропусков в рядах данных на станциях Нижне-Усинское, Буйба и Арадан расчеты производились для теплого периода по данным шести лет наблюдений, а для холодного периода и года - по данным двух лет.

Для учета влияния локальных факторов на процессы формирования стока были выделены стокоформирующие комплексы (далее – СФК) – участки речного бассейна, в пределах которых процесс формирования стока достаточно единообразен, а его количественные характеристики могут быть осреднены. Для каждого СФК были определены интервалы значений параметров, характеризующих влияние поверхности водосбора на процессы формирования стока. Среди них влажность и коэффициент фильтрации почвы, проективное покрытие различных ярусов растительности, мощность мохово-лишайникового покрова и др., выявленные авторами в ходе полевых исследований в регионе.

Определение оптимального числа СФК, отражающего специфику стокоформирования на водосборе, а также проверка выделения уточненных диапазонов параметров почвенно-растительного покрова проводились по результатам модельных экспериментов с различным числом задаваемых СФК по критерию Нэша–Сатклиффа (далее - NS) (Nash etc., 1970).

Результаты и обсуждение

В результате кластерного анализа были выделены две группы метеостанций с наиболее близкими связями: I-ю составили станции Минусинск, Курагино, Ермаковское, Каратуз, Казыр, а II-ю - Оленья речка, Нижне-Усинское, Буйба, Арадан. Уменьшение корреляционных связей с увеличением расстояния между станциями особенно заметно в теплый период, когда возрастает вероятность образования локальных облачных систем, и осадки носят очаговый характер.

Результаты расчетов показали, что во все годы и для всех периодов для первой группы станций бóльшую величину достоверности аппроксимации имеют уравнения, представляющие логарифмическую зависимость, а для второй – линейную.

На основе сезонных зависимостей осадков с высотой были получены поправочные коэффициенты, позволившие рассчитать суточные суммы осадков в расчетных точках модели “Гидрограф” для бассейна р. Амыл и р. Ус (использовалась I и II группа станций соответственно).

Модельные расчеты показали, что введение плювиометрических градиентов привело к повышению значений показателя NS для бассейна р.Ус в среднем с 0.70 до 0.78. Улучшение сходимости отмечено для 10-ти из 11 промоделированных лет, в том числе для года с наилучшим (до 0.91) и наихудшим (от 0.51) критериями качества (Пряхина и др., 2017). Для бассейна р. Амыл точность расчета годового и максимального стока возросла на 35% и 50% соответственно.

Вследствие небольших размеров водосборных бассейнов выделение СФК по мелкомасштабным ландшафтным картам малоэффективно из-за высокой степени генерализации информации о растительном покрове и других элементах ландшафтов. В

этой связи авторами была разработана обобщенная схема выделения СФК в исследуемом регионе. На начальном этапе территория дифференцируется по уклонам, затем для детализации условий стокоформирования последовательно добавляются степень дренированности, характеристика поверхностных отложений и растительного покрова. Далее приведен перечень СФК, используемых при моделировании: СФК-1 – мелколиственные леса на равнинах; СФК-2 – сельскохозяйственные угодья на равнинах и холмистых предгорьях; СФК-3 – заболоченные равнины или седловины; СФК-4 – мелколиственно-хвойные леса на холмистых предгорьях; СФК-5 – степи на склонах; СФК-6 – мелколиственно-хвойные леса на горных склонах; СФК-7 – остепненные лиственничники с березой на горных склонах; СФК-8 – среднекрутые склоны, занятые таежными лесами сложного состава; СФК-9 – темнохвойные леса на горных склонах; СФК-10 – редкостойные темнохвойные леса на горных склонах; СФК-11 – тундрово-луговое среднегорье; СФК-12 – гольцовые комплексы вершин и среднекрутых склонов; СФК-13 – выположенные вершины горных гряд, занятые лесом; СФК-14 – долинные мелколиственные и хвойные леса.

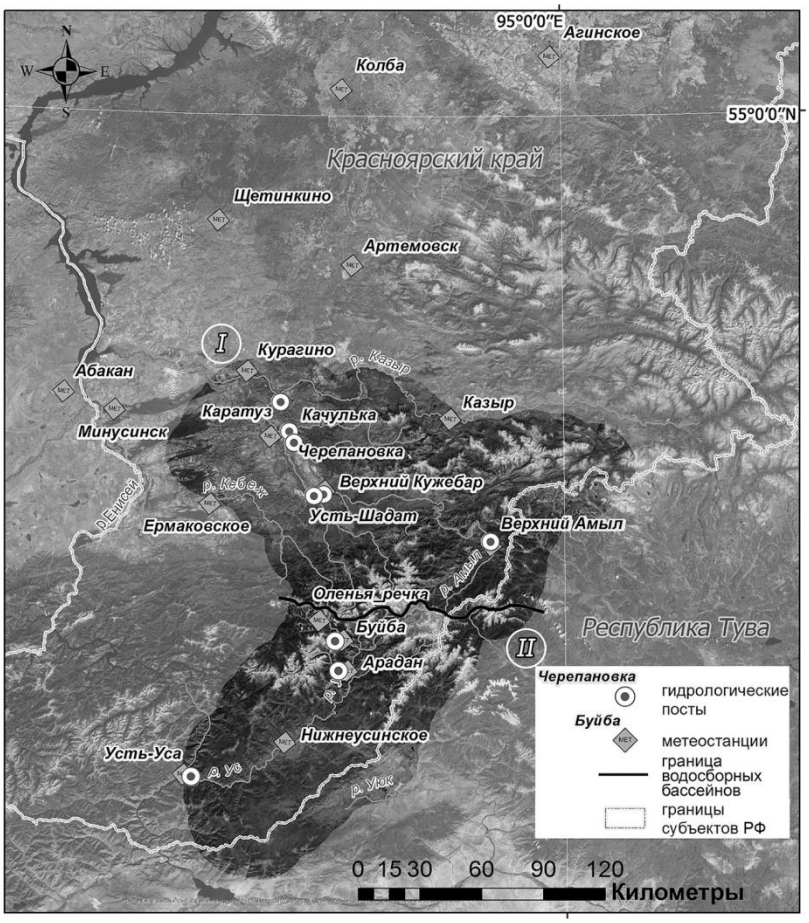


Рис. 1 Расположение гидрологических и метеорологических станций в районе исследования (I, II – группы метеостанций, пояснения в тексте)

В ходе модельных экспериментов выявлено, что для водосборов региона, площади которых составляют 5-10 тыс. км^2, оптимальным количеством СФК является 8-10 (Пряхина и др., 2014).

Сопоставление справочных значений некоторых параметров модели, отражающих свойства поверхности, с полученными в ходе полевых исследований позволило уточнить диапазоны этих параметров для каждого СФК. В качестве примера ниже приведены

значения некоторых из них для облесенных склонов средней крутизны, отличающихся составом и степенью сомкнутости древесного яруса (табл.1).

Таблица 1. Параметры почвенно-растительного покрова стокоформирующих комплексов (фрагмент)

Номер СФК	Затененность, б/р		Емкость перехвата, мм		Альбедо ландшафта, б/р		Коэффициент испаряемости, $10e^{-8}$/(ГПа с)	
	max	min	max	min	max	min	max	min
6	0.4	0.1	4.6	1	0.38	0.05	0.25	0.15
9	0.6	0.35	5	1	0.15	0.05	0.45	0.25
10	0.3	0.1	3	1	0.15	0.05	0.1	0.05

Детальный учет характеристик почвенно-растительного покрова путем введения значений параметров того СФК, который преобладает по площади в пределах подкомандной расчетной точки модели, позволил повысить сходимость гидрографов до 0.1. Это особенно важно при расчетах стока на неизученных водосборах. В этом случае отсутствие данных непосредственных гидрологических наблюдений может быть частично компенсировано корректно выбранными водосборами-аналогами и подбором регионально обоснованных значений параметров модели.

Заключение

Для территорий, слабо освещенных метеорологическими данными, использование сезонных вертикальных градиентов осадков, полученных для данного региона, значительно повышает надежность результатов моделирования: в среднем, величины сходимости наблюденных и рассчитанных гидрографов повысились на 0.2-0.3. Особо следует отметить хорошее совпадение при моделировании максимальных расходов воды, что имеет несомненную практическую значимость при расчетах и прогнозах опасных гидрологических явлений.

Использование материалов многолетних экспедиционных исследований позволило создать региональную информационную базу, отражающую условия формирования стока рек Западного Саяна. Предложенный принцип выделения СФК максимально учитывает разнообразие условий стокоформирования данного региона. Показано, что при моделировании стока на малых горных водосборах оптимальным является масштаб 1:500 000.

Определение количества СФК, наиболее полно отражающего условия стокоформирования, обосновано сходимостью модельных расчетов. Выявленные на основе полевых данных диапазоны значений некоторых характеристик почвенно-растительного покрова более точно, чем осредненные справочные данные отражают условия стокоформирования в регионе. Регионально обоснованные параметры могут быть применены для расчета стока с водосборов юга Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №13-05-00807-а) и Русского географического общества (проект № 18.63.99.2017)

Список литературы

Борщ С.В., Симонов Ю.А. Оперативная система краткосрочных гидрологических прогнозов расхода воды на реках бассейна Кубани // Тр. Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2013. № 349. С. 63–87.

Бураков Д.А., Адамович А.А. Долгосрочные прогнозы притока воды в водохранилища енисейских ГЭС с применением математической модели // Метеорология и гидрология. 2006. № 1. С. 95–105.

Бураков Д.А., Космакова В.Ф., Гордеев И.Н. О результатах испытания метода прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл // Информационный сборник «Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов». 2012. № 39. С. 121–126

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии: учеб. Пособие для студ. учреждений высш. проф. Образования. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 304 с.

Виноградова Т.А., Пряхина Г.В., Мосолова Г.И. Методические основы полевой гидрологии и организации комплексных экспедиционных работ на горных водосборах // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Геология. География. 2014. № 4. С. 189-196.

Кирста Ю.Б., Пузанов А.В., Ловцкая О.В., Лубенец Л.Ф., Кузняк Я.Э., Пахонтова А.Ю. Имитационная математическая модель стока средних и малых рек для горных территорий // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т.14. №1(9). С. 2334-2342.

Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Журавлёв С.А., Амбурцева Н.И., Чистяков К.В. Ландшафтно-гидрологическая структура водосбора реки Амыл и ее учет при моделировании формирования речного стока // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 131–137.

Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Журавлев С.А., Осипова Т.Н., Амбурцева Н.И., Виноградова Т.А. Оценка стока с малых горных водосборов методами гидрологического моделирования // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 1. С. 29-37.

Hydrograph model of runoff formation processes (www.hydrograph-model.ru)

Nash J.Ea, and Sutcliffe J. V.River flow forecasting through conceptual models part I–A discussion of principles // J. hydrology.1970. № 10.3. P. 282–290.

Vinogradov Yu.B., Semenova O.M., Vinogradova T.A. An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system // Hydrological processes. 2011. P. 1055–1073.

Factors of small mountain rivers flow formation: taking into account the regional features for runoff modeling

Pryakhina Galina, Zelepukina Elena, Osipova Tatiana, Gavrilkina Svetlana, Vinogradova Tatiana

Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences

elezelepu@gmail.com

Abstract: Some approaches to taking into account the local factors of flow formation for rivers in the upper Yenisei basin are suggested. The main problem of hydrological investigations consists in the conditions of insufficient data provided by the regime observations of mountain territories. The method of pluviometric gradients calculation based on the daily precipitation data analysis for warm and cold periods was offered. It's inclusion has improved the quality of runoff modeling considerably. The criteria for runoff forming complexes defining was developed. Some characteristics of soil and vegetation cover have obtained during the field researches and then they were used as parameters for modeling as well that also has resulted in significant modeling improvement.

Keywords*:* modeling, pluviometric gradients, runoff forming complexes

Ландшафтно-гидрологическое подобие водосборов малых и средних рек

***Решин Н.А.*, Тимофеева Л.А., Серова О.А., Абрамов Д.В.**
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
reshinn@yandex.ru

Аннотация: Недостаточность данных много лет является основным сдерживающим фактором развития прикладной гидрологии. С внедрением новых технических средств, стало возможно получать и анализировать данные на качественно новом уровне, успешно реализовывать научные идеи, разработка которых традиционными методами была крайне трудоёмкой и неэффективной. К таким идеям можно отнести ландшафтно-гидрологический подход, предложенный в 1930-х годах. В статье представлены результаты исследования, выполненного в рамках данного подхода с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM и ArcGIS на кафедре гидрологии суши РГГМУ. Исследовано 90 водосборов, расположенных в юго-восточной части бассейна Балтийского моря. Был разработан и опробован алгоритм выделения ладшафтно- и гидрологически однородных групп водосборов. Для кластерного анализа использовались гидрографические характеристики, доступные как в справочных источниках, так и полученные с помощью ArcGIS. Выделены три группы водосборов. Результаты кластеризации интерпретированы и проверены с помощью дискриминантного анализа. Рассмотрена возможность использования гистограмм распределения площадей высотных зон водосборов в качестве средства оценки их ландшафтного подобия. Сформулированы основы подхода, который, после необходимого усовершенствования, может быть применен для оценки нормы стока с водосборов неизученных малых и средних рек.

Ключевые слова: водосбор, ландшафт, гидрологическая аналогия, цифровая модель рельефа, ArcGIS, кластеризация, сток, морфометрический анализ.

Введение

Аналогия широко применяется как метод познания и обучения, позволяющий двигаться от известного к неизвестному. Гидрологическая аналогия – метод приближенной оценки гидрологических характеристик неизученного или слабоизученного водного объекта с помощью данных наблюдений на ином водном объекте со схожими природными условиями (Чеботарев, 1970). В России более 2,5 млн. рек, а регулярные наблюдения проводятся чуть более чем на 3000 гидрологических постах, именно по этой причине в практике гидрологических расчетов применяются реки-аналоги – реки, обеспеченные данными гидрологических наблюдений и находящиеся в схожих условиях формирования стока с рекой, для которой выполняется расчёт. При выборе аналога, согласно рекомендациям СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», должны быть учтены: однотипность стока реки-аналога и исследуемой реки, географическая близость водосборов, однородность условий формирования стока, сходство климатических условий, однотипность грунтов и гидрогеологических условий, степень озёрности, залесённости, заболоченности и распаханности водосборов, средние высоты водосборов, экспозиция склона и гипсометрия для горных и полугорных районов, факторы, существенно искажающие естественный речной сток.

Результаты расчётов по методу аналогии не всегда точны, так как необходимо, располагая достаточно скудной и не всегда надежной информацией, одновременно учесть множество физико-географических особенностей территории. Территория, однородная по

своему происхождению, истории развития и неделимая по зональным и азональным признакам называется ландшафт (Колобовский, 2006).

Высказывание известного гидролога П.С. Кузина о том, что «реки являются продуктом развития географического ландшафта», отражает подлинную связь между реками и окружающей средой. Основоположник ландшафтно-гидрологического метода В.Г. Глушков видел его назначение в установлении причинных связей гидрологических процессов с географическим ландшафтом (Бачурин, 1986). Для определённого ландшафта характерна некоторая совокупность факторов, под воздействием которых выпадающие на водосбор осадки трансформируются определённым образом. Можно предположить, что подобные ландшафты обладают подобной стокоформирующей способностью. Это предположение помогло обосновать методологию выполненного исследования, цель которого – сформировать группы водосборов, подобных по ландшафтно-гидрологическим признакам.

Объекты и территория исследования

В работе исследовано 90 водосборов с площадями от 40 до 20000 км^2, расположенных в юго-восточной части бассейна Балтийского моря. Выбор территории обусловлен её относительной климатической и геологической однородностью. Для неё характерен достаточно расчленённый рельеф с чередованием холмисто-грядовых пространств, значительная залесённость, обилие озёр, расположенных среди холмов и возвышенностей ледникового происхождения. Массив гидрологических и гидрографических характеристик сформирован с помощью справочников «Ресурсы поверхностных вод СССР» и «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши». К сожалению, отсутствуют данные о некоторых характеристиках, кроме того, возможны ошибки, о наличии которых сообщается в научной литературе (Виноградов и Догановский, 2016).

Методы и инструменты исследования

В ходе работы применялись цифровая модель рельефа (ЦМР) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) с разрешением в 1 дуговую секунду, программы ArcGIS ArcMap 10.0 и STATISTICA. Используя ЦМР в качестве входных данных, автоматически построена сеть водотоков и водоразделы. После построения водораздельных линий всех 90 выбранных водосборов пришлось отказаться от дальнейшей обработки 34 водосборов, так как относительная ошибка определения их площадей (по сравнению с данными из справочной литературы) составляла более 30 %. Для оставшихся 56 водосборов были построены гистограммы распределения площадей высотных зон. Построение водосборов и указанных гистограмм выполнялось практически автоматически в результате реализации алгоритма, написанного на языке Python.

Кластерный и дискриминантный анализ

В предварительной кластеризации в программе STATISTICA участвовали 44 водосбора. В ходе обработки цифровой модели рельефа при построении гистограмм площадей высотных зон были получены следующие параметры: средняя высота водосбора, амплитуда изменения высоты, коэффициент асимметрии гистограмм. Коэффициенты озёрности, заболоченности и залесённости взяты из «Основных гидрологических характеристик». Средние значения значимых параметров для каждого из трёх выделенных кластеров приведены в таблице 1.

Анализ в программе STATISTICA позволил получить классификационные функции для каждого кластера, которые выглядят следующим образом (пример для кластера 1):

$$\textbf{Кластер 1} = -60.9303 + 0.5385*\textbf{средняя высота} + 0.0297*\textbf{амплитуда} - 1.0395*\textbf{озёрность} + 0.1023*\textbf{заболоченность} + 0.2414*\textbf{залесённость} \quad (1)$$

В соответствии с классификационными функциями выдвинуты гипотезы о кластерной принадлежности 12 контрольных водосборов. В результате кластеризации объединённой

выборки, включающей 56 водосборов, состав ранее сформированных групп не изменился, а 11 из 12 гипотез подтвердились.

Анализ результатов

При кластерной обработке были достаточно хорошо идентифицированы водосборы возвышенностей и низменностей (табл. 1). Результаты можно интерпретировать следующим образом:

- водосборы кластера 1 имеют высокую озёрность, но несущественную залесённость, их средняя высота близка высоте водосборов кластера 2;
- водосборы кластера 2 имеют значительную среднюю высоту, амплитуду, залесённость и незначительную озёрность;
- водосборы кластера 3 низменные, со значительной заболоченностью и залесённостью.

Отмеченные ландшафтные особенности водосборов определяют различия между значениями среднемноголетних модулей стока для каждого кластера (см. табл. 1).

В распределении водосборов отдельных кластеров прослеживается ожидаемая широтная зональность (рис. 1). Однако, водосборы одного и того же кластера могут находиться достаточно далеко друг от друга. Разнообразие кластерной принадлежности в центральной части территории исследования можно объяснить тем, что здесь, согласно ландшафтной карте СССР 1980 (И.С. Гудилин), наблюдается смена ландшафта с бореально атлантического на бореально умеренно-континентальный. Для каждого кластера были построены зависимости среднемноголетних расходов воды от площадей водосборов. Средние расходы воды для рек с одинаковой площадью водосбора (например, 500 км^2), принадлежащих разным кластерам, могут отличаться на 10 %.

Табл. 1 Средние значения характеристик водосборов

Кластер	Средняя высота, м	Амплитуда, м	Озёрность, %	Заболоченность, %	Залесённость, %	Модуль стока, л/с*км²
1	191	112	7	5	19	5.53
2	200	186	3	3	44	7.97
3	114	116	2	10	49	6.44

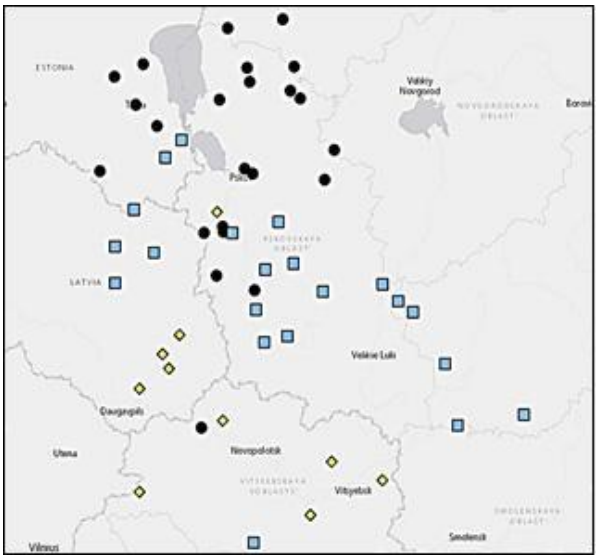


Рисунок 1 – Распределение водосборов по территории: ◇– кластер 1; ■ – кластер 2; ● – кластер 3

Морфометрический анализ

Морфометрический анализ достаточно популярен в науках о Земле; такой интерес к форме, по-видимому, объясняется тем, что внешний вид любого природного объекта и его сущность связаны между собой (Симонов, 1998). Демонстрация распределения площадей бассейна в высотных интервалах (в виде графиков и диаграмм) – классический метод отображения морфометрических характеристик речного бассейна. Гипсометрическая кривая и гистограммы позволяют выявлять закономерности строения поверхности, в т.ч. такое свойство, как ярусность рельефа (Погорелов, 2009).

В статье «Функции распределения высоты рельефа» (Шарапов, 1967) показано разнообразие видов распределения высоты рельефа, являющееся следствием различных условий рельефообразования (на примере участков размером 40х40 км). Автор делает следующие выводы:

- правоасимметричное распределение преобладает на равнинах с моренными валами и в низкогорных районах;
- левоасимметричное мономодальное распределение доминирует там, где эрозионные процессы особенно энергичны, например на овражистых равнинах, на закарстованных плоскогорьях;
- бимодальное, тримодальное и вообще полимодальное распределение характеризует ступенчатый рельеф или свидетельствует о сочетании разных типов рельефа.
- антимодальное (с второстепенной вершиной) распределение свойственно равнинам, на которых стоят террасированные столовые горы с вершинами, расположенными на общем уровне.

Выполнить анализ полученных гистограмм оказалось непросто. В первую очередь было рассмотрено общее соответствие полученных гистограмм ранее приведённым положениям. Большинство гистограмм правоасимметричны, что ожидаемо для Прибалтийского региона. Существующее предположение об изменении асимметрии гистограмм с увеличением площади территории подтверждается на примере р. Великая: асимметрия смещается вправо при увеличении водосбора, от верховья к низовью реки.

Принимая во внимание то, что закон распределения высотных зон изменяется с изменением рассматриваемой площади, из каждого кластера были рассмотрены пары водосборов с близкими площадями. В кластере 1 наблюдается некоторая схожесть распределения площадей высотных зон близких по размеру водосборов. В других кластерах асимметрия гистограмм распределений различна.

Для дальнейшего анализа гистограмм следует выбрать соответствующие математические функции, но сначала необходимо более тщательно выполнить кластеризацию, а затем и морфометрический анализ.

Заключение

В результате проделанной работы сформированы основы подхода к выбору рек-аналогов. С помощью современных средств, с учётом ряда характеристик подстилающей поверхности выделены достаточно однородные группы ландшафтно и гидрологически подобных водосборов. При использовании метода гидрологической аналогии одновременный учёт нескольких ландшафтных параметров более обоснован, чем последовательный учет отдельных параметров, который носит довольно субъективный характер и зависит от опыта работы специалиста. Показано, что среднегодовой сток с водосборов существенно зависит от их ландшафтной принадлежности, недоучёт которой может привести к ошибочной оценке стока неизученных рек. Сделана попытка расширить ряд характеристик, рекомендуемых к учёту при выборе рек-аналогов, включением в него гистограммы распределения площадей высотных зон водосбора.

Исследование показало, что современные ландшафтно-гидрологические исследования переросли рамки какого-то одного направления географической науки и могут быть успешно реализованы только при интердисциплинарном подходе. Именно такой подход может позволить достичь лучшего понимания механизма и степени влияния физико-географических факторов на режим и величину речного стока, без которого невозможно правильное применение метода гидрологической аналогии, усовершенствование существующих и разработка новых методов расчета гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений (Владимиров, 1990).

Список литературы

Бачурин Г.В. Гидрологические исследования ландшафтов – Новосибирск: Издательство «Наука» Сибирское отделение, 1986 – 200 с.

Виноградов А.Ю, Догановский Д.А. Состояние гидрометрических наблюдений на малых реках. Ученые записки – Л: РГГМУ 2016 – №44 7 с. (14-22).

Владимиров А.М. Гидрологические расчеты – Ленинград: Гидрометеоиздат. 1990 – 366 с.

Колобовский Е.Ю. Ландшафтоведение – М.: Академия, 2006. – 480 с.

Погорелов А.В. Рельеф бассейна р. Кубани: морфологический анализ – М.: ГЕОС, 2009 – 220 с.

Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению и спец. "География" /МГУ им. М. В. Ломоносова. – Москва ; Смоленск : Изд-во Смоленск. гуманит. ун-та, 1998. - 270 с.

Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. Издание второе переработанное и дополненное. – Ленинград. Гидрометеорологическое издательство. 1970. – 308 с.

Шарапов И.П. Функции распределения высоты рельефа. Рельеф Земли и математика. – М., Мысль,. 1967 – 71-79 с.

Landscape and hydrological similarity of small and medium-sized catchments

Reshin N., Timofeeva L., Serova O., Abramov D.
Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg
reshinn@yandex.ru

Abstract: Insufficient data has been a crucial limitation in applied hydrology for many years. Using modern technical allows obtaining and analyzing data at a higher level of quality. This allows implementing the landscape-hydrological approach, proposed in the 1930s, what was extremely time and force consuming by traditional methods. The paper presents the results of research carried out in the framework of this approach using the SRTM 30m digital elevation model (DEM) and ArcGIS at the department of Land Hydrology, RSHU. Ninety catchments situated in the south-eastern part of the Baltic Sea basin were studied. The algorithm for forming homogeneous groups of physically and hydrologically similar catchments was developed and tested. For cluster analysis both standard hydrographic and obtained using the DEM parameters were used. Clustering has resulted in three groups of catchments. Discriminant analysis verified the results to be reliable. The possibility of using hypsometric histograms of catchments as a means of assessing their similarity was considered. The basis of the approach for estimating the rate of runoff from ungauged small and medium-sized catchments was formed.

Keywords: catchment, landscape, hydrological analogy, digital elevation model, ArcGIS, clustering, runoff, hypsometric analysis

Обзор документов Всемирной метеорологической организации по гидрологии

Саноцкая Н.А.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
sanots@rambler.ru

Аннотация: Всемирная метеорологическая организация (ВМО) создана 23 марта 1950 г. Одной из восьми технических комиссий ВМО является Комиссия по гидрологии.

Поскольку вода является самым ценным и широко используемым ресурсом, Комиссия по гидрологии на своей первой сессии в 1961 г. в Вашингтоне приняла решение о подготовке «Руководства по гидрологической практике» (ВМО-№168), первое издание которого и было опубликовано в 1965 г. Шестое издание данного Руководства (2008) состоит из двух томов: Том 1 «Гидрология – от измерений до гидрологической информации» и Том 2 «Управление водными ресурсами и применение гидрологических методов».

Указанное Руководство является составной частью общей совокупности рекомендуемых процедур, предусмотренных Техническим регламентом (ВМО-№ 49), том III – Гидрология. Странам-членам ВМО предлагается придерживаться указанных документов при организации своих гидрологических служб и их деятельности.

Помимо этих документов ВМО разработала еще ряд руководств и наставлений по гидрологии, регламентирующих решение конкретных задач. Например, Manual on stream gauging (Наставление по измерению расхода воды) (WMO-519), GEMS/Water Operational Guide (Оперативное руководство по ГСМОС/Воде) и многие другие. В связи с тем, что одним из официальных языков ВМО является русский, ряд документов переведен на русский, но далеко не все.

В докладе представлен обзор основных документов по гидрологии, разработанных и рекомендуемых ВМО.

Ключевые слова: ВМО, Комиссия по гидрологии, руководство

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) – это специализированное учреждение Организации Объединенных Наций (ООН), членами которого являются 191 государство и территория (https://www.wmo.int/). Одной из восьми технических комиссий ВМО является Комиссия по гидрологии (рис. 1).

Основными публикациями ВМО по гидрологии являются:

- Технический регламент, том III, Гидрология (ВМО-№49).
- Руководство по гидрологической практике (ВМО-№169).
- Руководства.
- Технические отчеты.
- Оперативные отчеты по гидрологии (серия OHR, прекращенная с 2009 года).
- Другие документы.

Странам-членам ВМО предлагается придерживаться указанных документов при организации своих гидрологических служб и их деятельности.

Технический регламент ВМО (ВМО-№49)представлен в трех томах: Том I – Общие метеорологические стандарты и рекомендуемая практика, Том II – Метеорологическое обслуживание международной аэронавигации, Том III – Гидрология.

Цели технического регламента: a) облегчить сотрудничество в области метеорологии и гидрологии между странами – членами ВМО; b) наилучшим образом удовлетворить в международном масштабе специфические потребности различных областей применения

метеорологии и гидрологии; и c) обеспечить отвечающие требованиям единообразие и стандартизацию практики и процедур, применяемых в целях (a) и (b).

Том III – Гидрология – содержит определения технических терминов, классификацию станций гидрологических наблюдений и руководство по созданию сетей этих станций, их идентификацию, программы наблюдений, оборудование и методы наблюдения. В нем также содержится глава о метеорологических службах для гидрологии. Также том включает в себя дополнение под названием «Гидрологические приборы и методы наблюдений».

Одна из основных целей ВМО заключается в содействии применению передового опыта в области гидрологии, адаптированного к различным потребностям государств-членов, по всему спектру предоставляемого оперативного обслуживания.

Руководство по гидрологической практике (ВМО-№168) представляет собой один из краеугольных камней гидрологического компонента Структуры менеджмента качества – Гидрология (СМК-Г) ВМО.

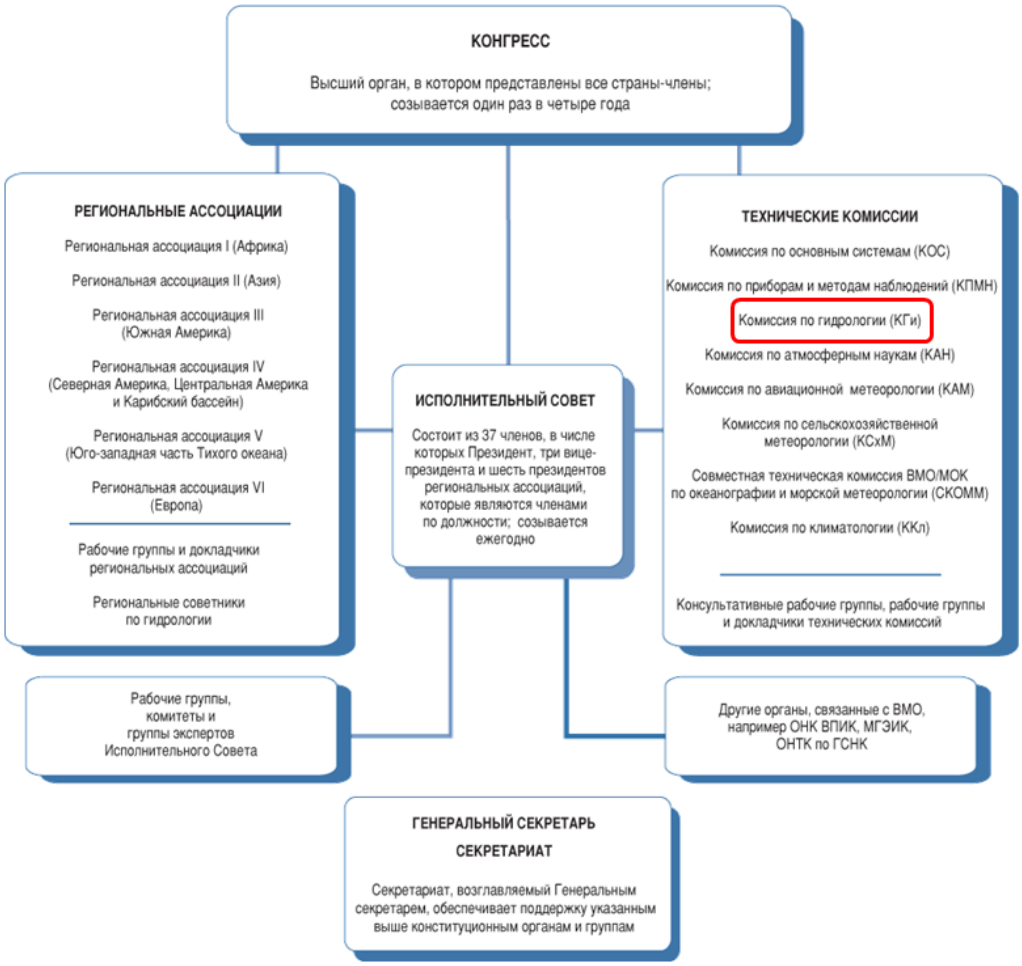


Рис. 1. Структура ВМО (по данным сайта https://public.wmo.int/)

Первое издание Руководства по гидрометеорологической практике было опубликовано в 1965 г. С тех пор Руководство регулярно обновляется на основе меняющихся потребностей и методов работы национальных гидрологических служб и специалистов, работающих в областях, связанных с водой.

Том I Руководства «Гидрология: от измерений до гидрологической информации» состоит из следующих разделов: методы наблюдений; измерение количества осадков; испарение, суммарное испарение и влажность почвы; количество поверхностных вод и измерение наносов; подземные воды; качество воды и водные экосистемы; условия соблюдения техники безопасности в гидрометрии; обработка данных и контроль качества; хранение, доступ и распространение данных.

Том II Руководства «Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов» содержит разделы: гидрологические службы; комплексное управление водными ресурсами; применения гидрологии в управлении водным хозяйством; анализ экстремальных значений; моделирование гидрологических систем; гидрологические прогнозы.

В связи с тем, что одним из официальных языков ВМО является русский, ряд документов переведен на русский, но далеко не все. Хочется надеяться, что работа по профессиональному переводу основных материалов ВМО на русский язык будет продолжена.

Другие руководства, представляющие интерес для гидрологов:

- Международный гидрологический словарь: International Glossary of Hydrology – WMO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2012 (WMO, No. 385).
- Руководство по прогнозированию и предупреждению паводков: Manual on flood forecasting and warning - WMO, 2011 (WMO, No. 1072).
- Руководство по измерению расходов воды. Том I. Полевые работы: Manual on Stream Gauging, Vol. I: Fieldwork - WMO, 2010 (WMO, No. 1044).
- Руководство по измерению расходов воды. Том II. Расчеты: Manual on Stream Gauging, Vol. II: Computation of discharge – WMO, 2010 (WMO, No. 1044).
- Руководство по оценке предельного слоя максимальных осадков: Manual on estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) – WMO, 2009 (WMO, No. 1045).
- Руководство по оценке и прогнозированию низкого стока: Manual on Low-flow Estimation and Prediction – WMO, 2008 (WMO, No. 1029).
- Руководство по роли, эксплуатации и управлению Национальными гидрологическими службами: Guidelines on the role, operation and management of National Hydrological Services - WMO, 2006 (WMO, No. 1003).

Технические отчеты:

- Требования к климатической и метеорологической информации для управления водными ресурсами: Climate and Meteorological information requirements for water management Technical Report Series No.1 - WMO 2012 (WMO, No. 1094).
- Технический материал по оценке водных ресурсов: Technical Material for Water Resources Assessment Technical Report Series No.2 – WMO 2012 (WMO, No. 1095).
- Планирование систем мониторинга качества воды: Planning of Water Quality monitoring systems Technical Report Series No.3 – WMO 2013 (WMO, No. 1113).
- Руководство по сохранению гидрологических данных: Guidelines for Hydrological Data Rescue – WMO, 2014 (WMO, No. 1146).
- Использование водосливов и лотков для измерения расходов воды: Use of weirs and Flumes in stream gauging Technical Note No.117 - WMO 1971 (WMO, No. 280).

Другие документы

- Обзор прикладных методов для анализа частоты наводнений в изменяющейся среде в Европе: A Review of Applied Methods in Europe for Flood-Frequency Analysis in a Changing Environment (April 2013).
- Доступ к данным о водных ресурсах и их использование: мнения сообществ пользователей: Access to and use of water resources data: the views of the users communities-Presentation paper.
- Доклад Совещания экспертов ГСНК/ГСНН/ГВПЗ по внедрению глобальной наземной сети – гидрология: Report of the GCOS/GTOS/HWRP Expert Meeting on the Implementation of a Global Terrestrial Network - Hydrology (GTN-H) (Koblenz, Germany, 21 - 23 October 2002).
- Программа по гидрологии и водным ресурсам: XIII-RA III/Pink 8 - Hydrology and Water Resources Programme.
- Оценка водных ресурсов. Справочник по обзору национальных возможностей: Water Resources Assessment (WMO UNESCO) – Handbook for Review of National Capabilities.
- Обмен гидрологическими данными и результатами: Resolution 25 (Cg-XIII) – Exchange of Hydrological Data and Products.
- Рекомендации по созданию описания компонента HOMS: Guidelines for writing a HOMS component description.
- План внедрения HOMS в XXI веке: Implementation Plan for HOMS in the 21st Century.
- Отчет о совещании по внедрению и координации HOMS: Report of the meeting on implementation and co-ordination of HOMS in RA VI – 1999.

Программы и проекты:

- Система гидрологических наблюдений ВМО: WMO Hydrological Observing System http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/chy/whos/index.php
- APFM – Associated Programme on Flood Management: http://www.floodmanagement.info
- WMO Global Hydrometry Support Facility Documentation: http://www.whycos.org/wordpress/wp-content/uploads/2016/08/GHSF-concept-note.pdf
- IDMP – Integrated Drought Management Programme: http://www.droughtmanagement.info
- Всемирная система наблюдения за гидрологическим циклом: WHYCOS – World Hydrological Cycle Observing System: http://www.whycos.org/whycos/

Полезные ссылки:

- Документы ВМО: http://www.wmo.int/
- Материалы на сайте Интститута повышения квалификации руководящих работников и специалистов Росгидромета: http://ipk.meteorf.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=283
- Гидрологический словарь он-лайн: http://hydrologie.org/glu/aglo.htm
- Гидрологическая оперативная многоцелевая система: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/homs/guidelines.html

Review of WMO documents for hydrology

Sanotskaya N.A.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg
sanots@rambler.ru

Abstract: The World Meteorological Organization (WMO) was established on 23 March 1950. One of the eight technical commissions of WMO is the Commission for Hydrology.

Since water is the most valuable and widely used resource, the Commission for Hydrology decided at its first session in 1961 in Washington to prepare a "Guide to Hydrological Practice" (WMO-No. 168), the first edition of which was published in 1965. The sixth edition of this manual (2008) consists of two volumes: Volume 1 "Hydrology - from measurements to hydrological information" and Volume 2 "Water resources management and application of hydrological methods".

The Guidelines are part of the overall set of recommended procedures provided for in the Technical Regulations (WMO-No. 49), Volume III - Hydrology. WMO Members are encouraged to adhere to these documents when organizing their hydrological services and their activities.

In addition to these documents, WMO has developed a number of other guidelines and manuals on hydrology that regulate the solution of specific problems. For example, Manual on stream gauging (WMO-519), GEMS / Water Operational Guide and many others. Due to the fact that one of the official WMO languages is Russian, a number of documents have been translated into Russian, but far from all.

The report provides an overview of the main hydrology documents developed and recommended by WMO.

Keywords: WMO, Commission for Hydrology, Management

Оценка стока с горных водосборов Западного Саяна на основе методов математического моделирования

Соловьев В.А.*, *Пряхина Г.В.
Санкт-Петербургский государственный университет, Россия
hydrovitosik@mail.ru

Аннотация: В работе произведен расчет стока воды с горных водосборов Западного Саяна, а также с отдельных стокоформирующих комплексов (СФК), на основании систематизированных параметров почвенно-растительного покрова и поверхности склонов, заданных по экспедиционным данным Института наук о Земле СПбГУ 2012-2017 гг.

Получены хорошие результаты моделирования, которые могут свидетельствовать о применимости данного набора параметров для моделирования стока воды бассейнов Западного Саяна, располагающихся в схожих условиях. Рассчитанный сток воды с отдельных СФК продемонстрировал, что наибольшие коэффициенты стока характерны для стокоформирующих комплексов, расположенных в верхних частях водосборов.

Ключевые слова: математическое моделирование, Западный Саян, стокоформирующий комплекс, расчет стока с отдельных стокоформирующих комплексов, горные водосборы.

Введение

Хозяйственное развитие горных территорий требует подробного изучения гидрологических процессов и явлений и применения современных подходов к расчетам характеристик стока в том числе и экстремальных. Недоучет специфики формирования стока в горах, а также недостаточное количество гидрометеорологических постов и станций уменьшают степень достоверности результатов расчетов стоковых элементов слабо изученных горных рек, выполняемых традиционными статистическими методами обработки данных гидрологических постов (Пряхина Г.В. и др. 2017). Использование для этих целей математических моделей формирования стока представляется наиболее перспективным, так как математическое моделирование является одним из приоритетных методов изучения на современном этапе развития гидрологических наук.

Целью работы является оценка стока воды со стокоформирующих комплексов горных водосборов Западного Саяна с применением методов математического моделирования.

В ходе работы решались следующие задачи:

1. Создание информационной базы моделирования: входная гидрометеорологическая информация, обобщенная и систематизированная для исследуемого района база параметров почвенно-растительного покрова и поверхности склонов (на основании экспедиционных данных института наук о Земле СПбГУ).
2. Моделирование стока воды с исследуемых водосборов и оценка качества моделирования.
3. Оценка вклада стокоформирующих комплексов в формирование стока воды на водосборах Западного Саяна.

В работе использовалась детерминированная гидрологическая модель процессов формирования стока «Гидрограф», разработанная д.т.н. проф. Ю.Б. Виноградовым (Виноградов Ю.Б., 1988).

Информационная база

В качестве объектов исследования были выбраны 7 водосборов рек, берущих свое начало на склонах Западного Саяна. Расчетный период для каждого водосбора выбирался

из расчета наличия данных наблюдений на метеорологических станциях и гидрологических постах.

Результаты моделирования стока малых горных водосборов во многом определяются качеством входной информации, поэтому принципиально важное значение приобретает создание информационной базы. Создание информационной базы – важный этап моделирования, в который входит поиск и формирование базы метеорологической и гидрологической информации, выделение стокоформирующих комплексов – районов со схожими почвенно-растительными и морфометрическими характеристиками, анализ информации о характере растительности, почвы и поверхности склонов для дальнейшего назначения параметров.

На данной территории выделено 14 типов СФК (см. табл.1) (Пряхина Г.В. и др., 2017).

Таблица 1. Стокоформирующие комплексы водосборного бассейна р.Амыл и р.Ус.

№ СФК	Краткое описание СФК
1	«мелколиственные леса на равнинах»
2	«сельскохозяйственные угодья на равнинах и холмистых предгорьях»
3	«заболоченные равнины или седловины»
4	«мелколиственно-хвойные леса на холмистых предгорьях»
5	«степи на склонах»
6	«мелколиственно-хвойные леса на горных склонах»
7	«остепненные лиственничники с березой на склонах»
8	«склоны, занятые таежными лесами сложного состава»
9	«темнохвойные леса на горных склонах»
10	«редкостойные темнохвойные леса на горных склонах»
11	«тундрово-луговое среднегорье»
12	«гольцовые комплексы вершин и среднекрутых склонов»
13	«выположенные вершины горных гряд, занятые лесом»
14	«долинные мелколиственные и хвойные леса»

Для каждого СФК с учетом экспедиционных данных 2012-2017гг. сотрудников Института наук о Земле СПбГУ была создана информационная база параметров, включающая обобщенные параметры почвенного профиля, растительного покрова и поверхности склонов. Данные параметры в ходе моделирования не корректировались.

Результаты моделирования

На первом этапе работы была выполнена адаптация модели к условиям исследуемых водосборов. Численные эксперименты продемонстрировали хорошую сходимость между наблюденными и рассчитанными расходами воды при заданных параметрах водосборов и эффективность использования систематизированных параметров почвенно-растительного покрова и поверхности склонов для исследуемой территории. Средний критерий эффективности Нэша-Сатклиффа (Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970) для исследуемых бассейнов составил 0,72.

На втором этапе работы была выполнена оценка среднего за расчётный период вклада отдельных СФК (табл. 1) в формирование стока воды с водосбора.

В целом для рассмотренных водосборов наибольшие коэффициенты стока характерны для СФК-10 – «редкостойных темнохвойных лесов на горных склонах», СФК-11 – «тундрово-луговых среднегорий» и СФК-12 – «гольцовых комплексов вершин и среднекрутых склонов» (0,74, 0,79 и 0,74 соответственно), расположенных в верхних частях водосборов, где выпадает большое количество осадков, а величина испарения невелика.

В модельных бассейнах реки Амыл наибольшие объемы стока формируют СФК, занимающие наибольшую площадь на водосборах (СФК 6, 9, 4 соответственно). Однако, в пересчете на единицу площади, наибольший вклад в формирование стока вносит СФК-11 – «тундрово-луговое среднегорье».

В бассейне реки Ус, для обоих модельных водосборов наибольший вклад как по объему стока, так и по стоку на единицу площади, вносит СФК 11 («тундрово-луговое среднегорье») – более 30 %.

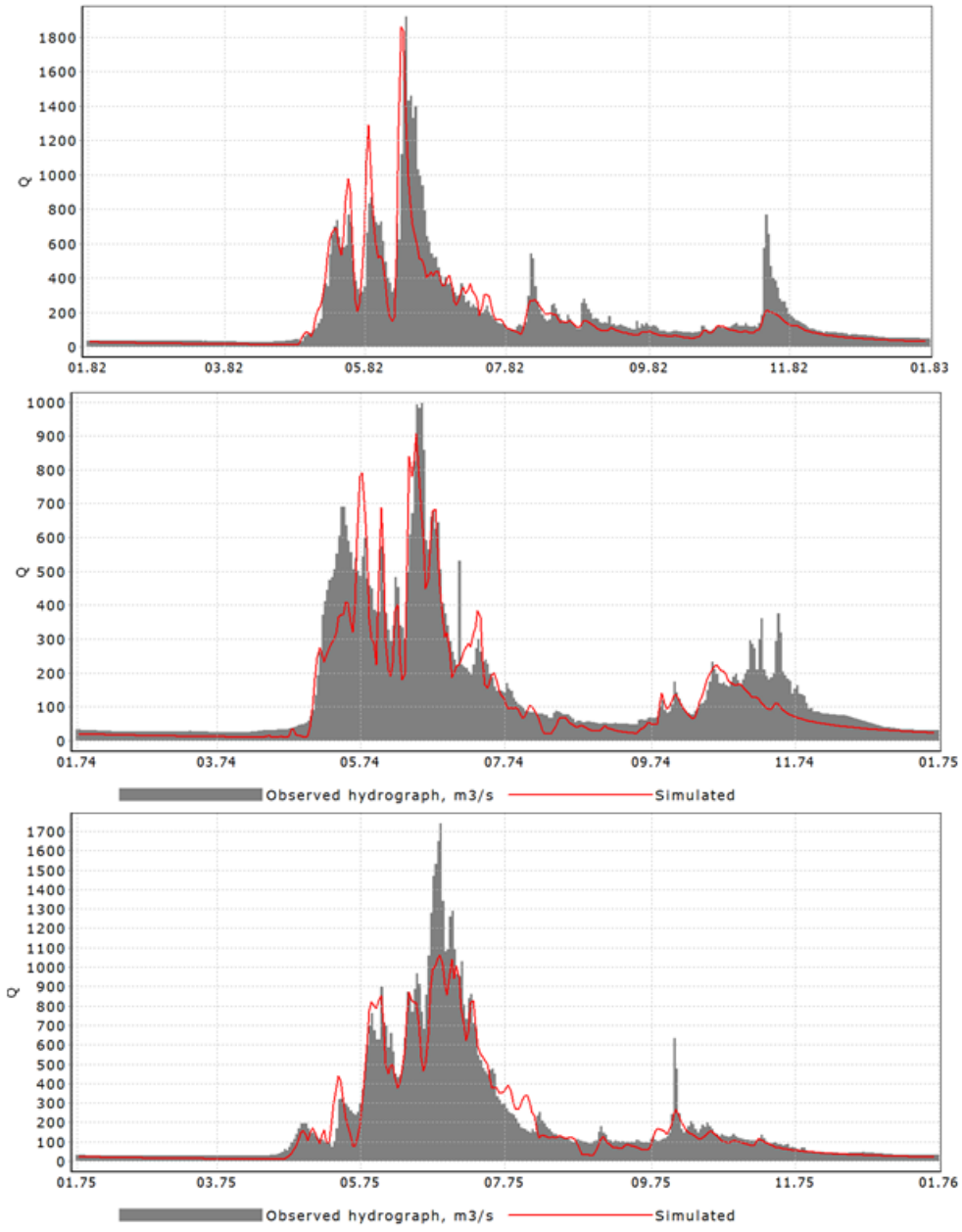


Рисунок 1. Рассчитанный и наблюденный гидрографы р.Амыл до с.Качулька за 1982, 1974 и 1975 гг. (Критерий эффективности Нэша-Сатклиффа 0,68 - низкий , 0,79 - средний и 0,89 – высокий соответственно).

В бассейне реки Оя наибольший вклад в формирование стока имеют верхние части бассейна, темнохвойные леса (СФК 9) и тундрово-луговое среднегорье (СФК 11), суммарно они дают больше 60% стока с водосбора.

Заключение

В ходе работы были обобщены и систематизированы параметры почвенно-растительного покрова и создана единая база для водосборов горной части Западного Саяна. С учетом этого было проведено моделирование стока в замыкающих створах 7 водосборов, расположенных в различных высотных интервалах, имеющих площади от 3,84 до 9850 км^2. Оценка сходимости рассчитанных и наблюдённых гидрографов показала удовлетворительные результаты, что позволило оценить среднемноголетние величины элементов водного баланса различных стокоформирующих комплексов и рассчитать их вклад в формирование стока воды рек, расположенных в горных условиях. Для территории Западного Саяна расчет с отдельных СФК был выполнен впервые, до этого использовались лишь статистические методы расчета стока с разных частей водосбора (Бураков Д. А. и др. 1991).

Численные эксперименты показали, что использование систематизированной базы параметров почвенно-растительного покрова и поверхности склонов для стокоформирующих комплексов водосборов Западного Саяна дает хорошие результаты и может быть применена для моделирования стока воды бассейнов, располагающихся в схожих условиях.

Список литературы:

Бураков Д. А., Космаков И. В., Космакова В. Ф. и др. Оценка коэффициентов снегонакопления в бассейне Верхнего Енисея // Тр. ЗапСибНИГМИ. — 1991. — № 94. — С. 51–65.

Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Критический анализ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 312 с.

Пряхина Г.В., Зелепукина Е.С., Журавлев С.А., Осипова Т.Н., Амбурцева Н.И., Виноградова Т.А. Оценка стока с малых горных водосборов методами гидрологического моделирования MOSCOW UNIVERSITY BULLETIN. SERIES 5. GEOGRAPHY. 2017. N1, с.29-37.

Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models: A discussion of principles // J. Hydrol. 1970. V. 10. № 3. p. 282–290.

Assessment of the runoff from the mountain watersheds of the Western Sayan Mountains based on methods of mathematical modeling

Solovev Vitalii, Priakhina Galina

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

hydrovitosik@mail.ru

Abstract: In the study, the calculation of the flow of water from the mountain watersheds of the Western Sayan, as well as with runoff formation complexes (RFC), based on the systematized parameters of the soil and vegetation cover and the surface of the slopes specified by the expedition data of the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University 2012-2017.

Good modeling results are obtained, which may indicate how to do this. The calculated water runoff with individual RFCs demonstrated that the largest runoff coefficients for runoff formation complexes located in the upper parts of the catchments.

Keywords: mathematical modeling, Western Sayan Mountains, runoff formation complexes, flow calculation from runoff formation complexes, mountain watersheds

Неоднородности в многолетних колебаниях речного стока и основных гидроклиматических процессов в бассейне Северной Двины в условиях изменения климата

Соломонова И.В.*, *Фролов А.В.
Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
solomira@bk.ru

Аннотация: Реакция стока на изменение климата на водосборе выражается в неоднородности соответствующих рядов наблюдений. Неоднородность в речном стоке и других гидроклиматических процессах может проявляться не только в математическом ожидании, но и в моментах распределения более высокого порядка, например, в дисперсии и коэффициенте автокорреляции. При этом возможны ситуации, когда при практически неизменном математическом ожидании имеют место значительные изменения дисперсий и коэффициентов автокорреляций. Именно этот случай был обнаружен нами в рядах стока р. Северная Двина и осадков в ее бассейне. Показано, что изменение режима стока и осадков могло произойти из-за смещения центров действия атмосферы в Северной Атлантике.

Ключевые слова: Северная Двина, неоднородность, сток, осадки, испарение, температура воздуха

Введение

Одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед гидрологами, является выявление закономерностей изменений водного режима рек в меняющихся климатических условиях. В качестве параметров, характеризующих климатические условия в сравниваемых интервалах времени, обычно используются усредненные по этим интервалам характеристики климатических процессов. Таким образом, реакция стока и других гидроклиматических процессов на изменение климата на водосборе может проявляться в неоднородности соответствующих рядов наблюдений, т.е. в изменении статистических характеристик соответствующих данных наблюдений для различных временных интервалов, и/или наличии трендов. Поискам трендов в гидроклиматических процессах посвящено большое количество работ (см., например, Burn, Elnur, 2002; Hannaford et al., 2013 и др.). Неоднородность может проявляться в изменениях математического ожидания и/или в моментах распределения более высокого порядка, например, в дисперсии и коэффициенте автокорреляции. В исследованиях различных авторов отмечены несколько типов изменений в процессах по первым и по вторым моментам распределения (см., например, Добровольский, 2002; Голицын и др., 2004; Симонов, Христофоров, 2005; Георгиевский, Шалыгин, 2012; Фролова, 2017). Нами исследован случай, когда в многолетних колебаниях стока р. Северная Двина и осадков в ее бассейне математические ожидания этих процессов практически постоянны, но есть заметные изменения дисперсий и коэффициентов автокорреляций.

Материалы и методы

Для того чтобы судить об изменении климатической ситуации в бассейне реки необходимо проведение анализа особенностей режима стока, основных стокоформирующих факторов (осадков и температуры воздуха, как характеристики, влияющей на испарение с водосбора) в комплексе с климатическими процессами глобального характера. В качестве характеристик этих процессов использовались индексы

атмосферной циркуляции Североатлантического колебания (NAO) и Арктического колебания (АО).

Для анализа были взяты многолетние (за 1891–2008 гг.) ряды годовых величин речного стока С.Двины, годовых слоев осадков на бассейн и среднегодовая температура воздуха, усредненные по бассейну. Сток С.Двины не зарегулирован, изъятия из стока незначительны, поэтому режим стока этой реки можно считать практически не искаженным прямым техногенным воздействием.

Результаты

В многолетних колебаниях стока С.Двины и осадков нами были обнаружены два относительно длительных интервала времени (1891–1949 гг. и 1950–2008 гг.), характеризующиеся существенным различием по вторым моментам – дисперсии и автокорреляции. Особенностью выявленной неоднородности оказалось практическая неизменность средних величин стока и осадков для интервалов 1891–1949 гг. и 1950–2008 гг. Таким образом, ряды стока и осадков могут рассматриваться как однородные по отношению к средним (математическим ожиданиям), но оказались неоднородными по отношению к дисперсии и коэффициенту автокорреляции (табл.1).

Табл. 1. Статистические характеристики процессов на водосборе Северной Двины

Характеристика / Процесс	Среднее		Дисперсия		Коэффициент автокорреляции	
	Интервал		Интервал		Интервал	
	I	II	I	II	I	II
Осадки, мм/год	550	578	3781	3120	0.32±0.13	0.00±0.13
Сток Сев.Двины, мм/год	311	293	3802	2500	0.41±0.13	0.03±0.13
Температура, С	1.0	1.2	1.3	1.6	0.15±0.13	0.18±0.13

Обозначения: I – интервал 1891–1949 гг.; II – интервал 1950–2008 гг.

Во всех исходных рядах из табл.1 статистически значимого различия между средними величинами и дисперсиями (по критериям Стьюдента и Фишера соответственно) для обоих интервалов не было показано. Критерий Манна-Кендалла, примененный к скользящим 50-летним средним осадков и стока, также не выявил трендов в средних, но показал наличие трендов в рядах соответствующих дисперсий (рис.1).

Учитывая, что критерий Фишера весьма чувствителен к нарушению условий применимости (например, требованию гауссовости распределения и др.), представляется более надежным применение критерия Манна-Кендалла на наличие тренда в рядах дисперсий и коэффициентов автокорреляции осадков и стока С.Двины.

Применение динамико-стохастической модели многолетних колебаний стока (Фролов, 2011) С.Двины показало соответствие изменений статистических характеристик стока и осадков. Это позволило оценить изменения соответствующих характеристик испарения с водосбора. В рамках этой модели, речной сток рассматривается как выходной процесс гидрологической системы. Входными процессами являются годовые осадки и испарение, усредненные по территории речного бассейна. Для сравнения мы используем квазистационарный подход, согласно которому принимается предположение о стационарном характере процессов в указанных интервалах.

Средние величины осадков и стока р.С.Двина для указанных интервалов отличаются незначительно, однако средние величины испарения, вычисленные как разность между осадками и стоком, заметно различаются – 239 и 285 мм/год для I и II интервалов соответственно. Это различие находит некоторое подтверждение и в увеличении от I ко II интервалу среднегодовой температуры воздуха – от 1.0ºС до 1.2ºС (табл.1), что должно было способствовать увеличению испарения. Таким образом, есть

основания предположить, что, помимо влияния осадков на изменения статистических характеристик стока С.Двины повлияло и изменение режима колебаний испарения.

Анализ данных позволил сделать следующие предположения о физических причинах изменений (от I-го ко II-му интервалу времени) дисперсии и автокорреляции стока р. С.Двина. Уменьшение дисперсии и коэффициента автокорреляции осадков во II-м интервале времени имело следствием уменьшение соответствующих характеристик стока С.Двины. Однако, оказалось, что одного только изменения в статистических характеристиках осадков недостаточно для уменьшения коэффициента автокорреляции стока практически до нуля. Для этого необходимо уменьшение коэффициента автокорреляции второго входного процесса рассматриваемой гидрологической системы – испарения с речного бассейна. Результаты применения динамико-стохастической модели стока подтверждают это предположение – коэффициент автокорреляции испарения для II-го интервала времени уменьшается до отрицательной величины . Таким образом, многолетние колебания испарения с водосбора С.Двины для I-го и II-го интервалов времени имеют несколько различный характер. Именно, для I-го интервала времени колебания испарения могут рассматриваться как процесс, близкий к белому шуму, для II-го интервала – как процесс, близкий к «фиолетовому» шуму, т.е. процессу, для которого максимум энергии смещен в сторону высоких частот (Фролов, 2014). Числовой коэффициент λ, который характеризует инерционность колебаний стока, также различен для рассматриваемых интервалов времени, $\lambda \approx 4$ год$^{-1}$ и $\lambda \approx 10$ год$^{-1}$, для I-го и II-го интервалов времени, соответственно. Это означает уменьшение «регулирующего» (т.е. увеличивающего коэффициент автокорреляции стока реки по сравнению с такой же характеристикой входных процессов) действия водосбора.

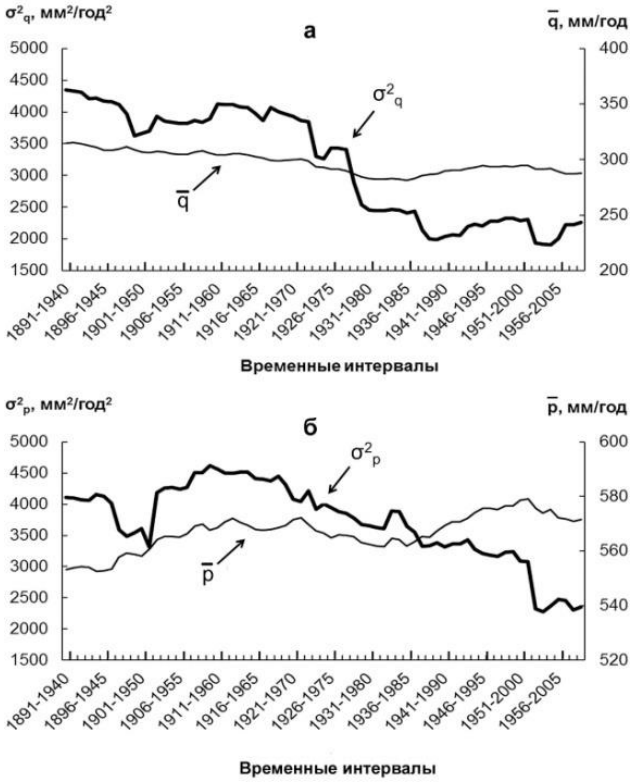


Рис. 1. Средние и дисперсии стока (а) и осадков (б) по 50-летним скользящим интервалам.

Обозначения: $\overline{q}$ ***– среднее стока,*** σ_q^2 ***– дисперсия стока;*** $\overline{p}$ ***– среднее осадков,*** σ_p^2 ***– дисперсия осадков***

Изменения вторых моментов распределения стока С.Двины, испарения и осадков по ее бассейну могут быть следствием климатического воздействия. Изменение в гидроклиматических процессах отмечаются многими авторами и связываются с климатическими изменениями: перестройкой атмосферной циркуляции, с изменениями в основных океанских течениях, например, Эль-Ниньо и общим количеством облачности. Эти глобальные климатические изменения в XX веке начали проявлять с конца 1960-х–начала 1970-х гг.

Средний многолетний сток зависит, прежде всего, от таких климатических факторов как атмосферные осадки, температура приземного слоя атмосферы, испарение, а затем уже от всех других природных факторов. Основная роль в увлажнении территории бассейна С.Двины принадлежит циклоническим осадкам, которые являются преобладающим фактором формирования речного стока для рассматриваемой территории. Они выпадают на речной бассейн при прохождении циклонов из разных зон образования. В качестве показателей активности зональной циркуляции приняты индексы Арктической и Северо-Атлантической осцилляции. Они являются одной из основных характеристик крупномасштабной циркуляции атмосферы в северном полушарии.

Анализ связи изменений стока, температуры воздуха, осадков с индексами атмосферной циркуляции в бассейне С.Двины в годовом масштабе (1891–2015 гг.) показал наличие такой связи между осредненными температурами воздуха в бассейне с индексами циркуляции (r~0.5) и отсутствие между осредненными осадками, стоком и индексами. Однако, в (Polyakova et al., 2006; Панин и др., 2011; Нестеров, 2013) показано, что зоны влияния NAO и AO нестабильны во времени и пространстве. Действительно, такое поведение индексов циркуляции атмосферы находит подтверждение при корреляционном анализе между изменениями стока С.Двины за весенние месяцы (март-май) и индексом NAO за зимний сезон (декабрь-февраль). Выявлена значимая корреляция (r=0.5) со сдвигом в 1 год в период 1960–2008 гг. и с индексом AO со сдвигом 2 года в тот же период. До этого времени значимой связи не выявлено. В зимний период (декабрь-февраль) значимая корреляция (r=0.5) между осредненными осадками по бассейну С.Двины и индексом NAO появляется после 1970 г., при сдвиге осадков относительно NAO на 1 год. Связь между зимними значениями осадков и индекса AO отсутствует.

Выводы

1. В многолетних колебаниях стока С.Двины и осадков обнаружены два относительно длительных интервала времени (1891–1949 гг. и 1950–2008 гг.), характеризующиеся существенным различием по вторым моментам – дисперсии и автокорреляции. Таким образом, ряды наблюдений за стоком С.Двины и осадками оказались неоднородными по вторым моментам.
2. Особенностью выявленной неоднородности оказалось практическая неизменность средних величин стока и осадков для интервалов 1891–1949 гг. и 1950–2008 гг.
3. Применение динамико-стохастической модели многолетних колебаний стока С.Двины показало соответствие изменений статистических характеристик стока и осадков. Показано, что многолетние колебания испарения с водосбора С.Двины для I-го и II-го интервалов времени имеют различную автокорреляцию.
4. Показано, что изменение режима стока и осадков могло произойти из-за смещения центров действия атмосферы во времени и пространстве. На сток С.Двины с 1960-х гг. стало оказывать влияние NAO и AO, а на осадки в бассейне (с 1970-х гг.) только NAO.

Список литературы

Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. Глава 2. Гидрологический режим и водные ресурсы. *Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем*. М.: Росгидромет, 2012: 53-86

Голицын Г.С., Ефимова Л.К., Мохов И.И., Тихонов В.А., Хон В.Ч. Долгопериодные изменения режима температуры и осадков в Санкт – Петербурге по эмпирическим данным и модельные оценки региональных изменений в прошлом и будущем // *Метеорология и гидрология*, № 8, 2004: 5-17

Добровольский С.Г. Климатические изменения в системе «гидросфера-атмосфера». М.: ГЕОС, 2002: 231

Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, лтд, 2013: 144

Панин Г.Н., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В. Циркуляционные индексы и региональные климатические изменения. *Полярная криосфера и воды суши*. М.: Paulsen, 2011: 98-106

Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Анализ многолетних колебаний стока рек бассейна Северного ледовитого океана // *Водные ресурсы,* № 6, 32, 2005: 645-652

Фролов А.В. Дискретная динамико-стохастическая модель многолетних колебаний речного стока// *Водные ресурсы*, № 5, 38, 2011: 538-547

Фролов А.В. Оценка статистических характеристик многолетних колебаний испарения с крупных речных водосборов // *Доклады академии наук,* № 3, 458, 2014: 345-348

Фролова Н.Л., Белякова П.А., Григорьев В.Ю., Сазонов А.А., Зотов Л.В. Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги// *Водные ресурсы,* № 3, 44, 2017: 243-255

Burn D.H., Elnur M.A.H. Detection of hydrologic trends and variability // *Journal of Hydrology,* 255, 2002: 107-122

Hannaford J., Buys G., Stahl K., Tallaksen L.M. The influence of decadal-scale variability on trends in long European streamflow records // *Hydrology and Earth System Sciences,* 17, 2013: 2717-2733

Polyakova E.I., Journel A.G., Polyakov I.V., Bhatt U.S. Changing relationship between the North Atlantic Oscillation and key North Atlantic climate parameters // *Geophysical Research Letters,* 33, 2006: L03711

Heterogeneities in long-term fluctuations of the river runoff and the basic hydro-climatic processes at the Northern Dvina basin under climate changes

Solomonova I.V.*, *Frolov A.V.

[1]*Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia*

solomira@bk.ru

Abstract: The river runoff response to climate change in the catchment area is expressed in the heterogeneity of the corresponding series of observations. It can show itself not only in mathematical expectation, but also in moments of distribution of a higher order, for example, in variance and the coefficient of autocorrelation. There are cases when there are no significant changes in the mathematical expectations of these processes, but there are changes in variances and coefficients of autocorrelations. It was this case that was discovered by us in runoff of the Northern Dvina river and precipitation in its basin. It is shown that the change in runoff and precipitation regime could occur due to the displacement of the centers of action of the atmosphere in time and space.

Keywords: Northern Dvina, heterogeneity, runoff, precipitation, evaporation, air temperature

Метеорологические условия территории Белорусского Поозерья как фактор устойчивости озер к внешнему воздействию

Суховило Н.Ю.
Белорусский государственный университет, Минск
nina_s3894@mail.ru

Аннотация: В статье изложены результаты исследования влияния метеорологических и климатических условий на устойчивость озер к внешнему воздействию. Объектами исследования послужили 5 подпрудных озер Белорусского Поозерья с репрезентативными рядами гидрологических наблюдений, сходных по климатическим условиям на водосборах и температурному режиму водной массы, но имеющих различный трофический статус. Целью исследования являлся анализ влияния метеорологических условий на территории Поозерской физико-географической провинции на формирование устойчивости озер к внешнему воздействию. Исследование проводилось с помощью методов анализа, математической статистики и моделирования. Для расчета термической устойчивости, числа Веддерберна и частоты плавучести была использована online-модель Lake Analyzer. В ходе исследования установлены закономерности изменения гидро- и термодинамических показателей в зависимости от морфометрии их котловин и метеоусловий, рассмотрены особенности их влияния на устойчивость озер к внешней нагрузке. Во всех изученных озерах в многолетнем разрезе наблюдается рост термической устойчивости, частоты плавучести и числа Веддерберна. Основной причиной их увеличения является рост температуры воздуха и снижение средней скорости ветра. Это способствует усилению термической стратификации в летний период и ухудшению кислородного режима водной толщи, что в будущем может негативно сказаться на среде обитания рыб и других гидробионтов, а также на качестве воды. Полученные результаты могут использоваться для управления водными экосистемами и определения допустимой нагрузки на них.

Ключевые слова: Белорусское Поозерье, озеро, метеорологические условия, климат, термическая устойчивость, устойчивость к внешнему воздействию, водообмен.

Введение

Прогноз состояния озерных экосистем в условиях меняющихся природных условий и непрерывно растущей антропогенной нагрузки является одной из актуальных задач современной лимнологии. Важная роль при этом отводится разработке методов оценки и прогноза пространственно-временной изменчивости параметров, определяющих качество воды в водных объектах. Климатические переменные, такие как солнечная радиация, температура воздуха, осадки и скорость ветра, в значительной мере определяют особенности термической стратификации и характер протекания внутриводоемных процессов, являющихся звеном глобального круговорота вещества и энергии.

Под устойчивостью в общем случае понимают способность экосистем сохранять свою структуру и характер функционирования в пространстве и времени при изменяющихся условиях среды. Применительно к водным объектам наиболее стройная концепция устойчивости экосистем предложена В.Н. Михайловым и К.К. Эдельштейном. Методика интегральной оценки устойчивости озер к внешнему воздействию была разработана Е.А. Примак и В.В. Дмитриевым (Примак, 2009, Дмитриев, 2013).

Белорусское Поозерье – регион, расположенный в пределах Витебской, на северо-востоке Гродненской и севере Минской областей. Южная граница проходит по линии Вильнюс – Молодечно – Бегомль – Холопеничи – Ореховск и совпадает с границей

поозерского (валдайского) оледенения. Климат региона – умеренно-континентальный, более холодный и влажный по сравнению с остальной территорией Беларуси. Средние температуры января изменяются от –6°С до –8,4°С, средние июльские температуры составляют от +17°С до +18°С, среднее годовое количество осадков – 600 – 700 мм, на возвышенностях юго-запада провинции – до 750 мм.

С целью анализа особенностей влияния метеорологических условий на на территории Поозерской физико-географической провинции на формирование устойчивости озер к внешнему воздействию было исследовано пять озер с открытыми подпрудными котловинами, достаточно большим объемом водной массы и слабо выраженной прямой стратификацией или гомотермией в летний период. Это озера Нарочь, Мястро, Дривяты, Нещердо и Лукомское.

Материалы и методы

Для оценки устойчивости исследуемых озер к внешнему воздействию автором была адаптирована методика Е.А. Примак.

В качестве входных данных для моделирования использовались батиграфические кривые озер, температуры и уровни воды, и данные о температурах воздуха и скорости ветра на ближайших к озерам метеостанциях (Полоцк, Лепель, Лынтупы). Фондовые материалы были предоставлены Республиканским центром по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.

Основными анализируемыми термодинамическими параметрами стали глубина металимниона, термическая устойчивость Шмидта, число Веддерберна и частота плавучести Брента-Вяйсяля. Эти характеристики отражают особенности перемешивания водной массы, перераспределения в ней тепла и растворенных веществ.

Сопротивление слоя воды перемешиванию тем сильнее, чем больше градиент плотности, зависящий, в свою очередь, от градиента температуры. Для оценки устойчивости водного слоя к перемешиванию используется квадрат частоты плавучести:

$$N^2 = g\rho\partial\rho\partial z, \quad (1)$$

где g – ускорение силы тяжести, ρ – плотность воды, z – глубина слоя воды (отсчитываемая от поверхности воды).

Чем выше этот показатель, тем большая внешняя работа требуется для перемешивания водного слоя; отрицательные значения N^2 (мнимые N) указывают на его нестабильность и самопроизвольное перемешивание.

Важным параметром, влияющим на скорость перемешивания, является устойчивость водной массы. Общая устойчивость озер определяется как работа, которую необходимо совершить для перевода озера в состояние гомотермии в адиабатических условиях. Данная величина рассчитывается по формуле (2) и выражается в джоулях на единицу площади поверхности озера.

$$W_t=gA00zm(z-zv)\rho zAzdz \quad (2),$$

где z_v – глубина центра масс озера при постоянной плотности, z_m – максимальная глубина, ρ_z – плотность воды на глубине z, A_0 – общая площадь озера, A_z – площадь озера под изобатой z м, V – общий объем озера.

Число Веддерберна показывает баланс между ветровым воздействием и силой плавучести и рассчитывается по следующей формуле:

$$W=g'ze2Lsu* \quad (3),$$

где $g'=g(\Delta\rho/\rho_h)$ – приведенное ускорение свободного падения из-за изменения плотности (Δp) между гиполимнионом (ρ_h) и эпилимнионом (ρ_e), z_e – глубина перемешиваемого слоя, L_s – длина разгона волны, u* – сила трения из-за ветрового воздействия. Если число Веддерберна намного больше единицы, то ветровое воздействие играет решающую роль в перераспределении тепла в водной толще (Read, 2011).

Для расчета гидротермодинамических характеристик была использована online-модель LakeAnalyzer, представляющая собой программный код в сочетании с поддержкой инструментов визуализации полученных результатов.

Результаты и их обсуждение

Благодаря большому объему водной массы все 5 исследуемых водоемов отличаются высокой устойчивостью к внешнему воздействию.

Морфологические и морфометрические показатели исследуемых водоемов в целом являются благоприятным фактором их экологического состояния, т.к. они не способствуют расслоению водной массы и последующему снижению устойчивости озер и водохранилищ к внешнему воздействию, но, исходя из общей тенденции к уменьшению средней скорости ветра в период потепления климата, создаются условия для появления термической стратификации, что может привести к негативным последствиям.

В основном, котловины исследуемых озер ориентированы в направлении с севера на юг или с северо-запада на юго-восток, в соответствии с преобладающим направлением ветров, и если длина разгона волны большая, то будет происходить активное ветровое перемешивание, благоприятно сказывающееся на трофическом статусе водоема.

За исследуемый период в озерах Поозерья фиксируется увеличение термической устойчивости. С 1977 по 2014 гг. термическая устойчивость в оз. Дривяты возросла с 50 Дж/м^2 в 1980-х гг., до 93 – 94 Дж/м^2. Озеро Лукомское, несмотря на очень близкие с озером Дривяты морфометрические характеристики, отличается меньшей термической устойчивостью. В оз. Нарочь до начала 1990-х отмечалось снижение устойчивости, затем был короткий период роста, и с 1995 г. она почти не меняется. Из-за того, что глубина озера составляет более 24 м, термическая стратификация здесь выражена сильнее, и данный показатель здесь достигает 290 Дж/м^2. В озерах Мястро и Нещердо из-за небольшого температурного градиента данный показатель даже летом часто близок к нулю. В последние три десятилетия для озер характерно увеличение термического сопротивления ветровому воздействию. Небольшие отрицательные значения параметра наблюдаются осенью при наиболее активном перемешивании (Суховило, 2017a, 2017b, 2017c).

Максимальные летние теплозапасы водоемов в большинстве случаев наблюдались в периоды нахождения на изучаемой территории блокирующих антициклонов. Несмотря на безветрие, в приповерхностных слоях накапливалось большое количество тепла, которое распределялось вглубь, постепенно опуская термоклин. Максимальная термическая устойчивость также фиксировалась в годы с аномально жарким летом, немного раньше максимального теплозапаса, до начала разрушения стратификации. Примером отсутствия стратификации при высоких температурах воды и воздуха является оз. Нарочь 30 июля 2003 г., когда температура воды в придонном слое на глубине 23 м составила 20,3 ºС, в то время как у поверхности она была выше всего на 4,1 ºС.

Анализ зависимости теплозапасов и термической устойчивости от температуры воздуха показал наличие сильных прямых связей между ними. При их максимальных значениях, которые отмечаются в жаркие сухие периоды поступление веществ с водосборов резко сокращается, поэтому общее содержание растворенных веществ остается небольшим. В то же время, из-за усиленного испарения и слабого водообмена между слоями их концентрация у поверхности может возрастать, поэтому выраженную зависимость минерализации от теплозапаса удалось выявить только для оз. Нарочь. Остальные озера подвержены более сильному антропогенному воздействию, и концентрация в них растворенных веществ в меньшей степени определяется природно-климатическими факторами.

Минерализация воды в исследуемых озерах обратно пропорциональна максимальному теплозапасу, несмотря на то, что при увеличении температуры воды и, соответственно, теплозапаса увеличивается испарение с водной поверхности, что должно

способствовать концентрации растворенных веществ. По-видимому, это можно объяснить прекращением или резким сокращением поступления веществ с водосбора, поскольку в периоды нахождения на территории Беларуси блокирующих антициклонов с высокой температурой воздуха осадки не выпадают.

Кроме климата и температурного режима, в значительной мере на химический состав воды влияет проточность озера. Оценка роли водообмена в его формировании была произведена на основе анализа связи удельной водообменности и концентрации растворенных в воде веществ. В целом, полученные зависимости оказались более сильными, чем зависимости гидрохимических показателей от температуры воды, что говорит об определяющем влиянии проточности на величину гидрохимических и гидробиологических показателей.

Выводы

Во всех изученных озерах в многолетнем разрезе наблюдается рост термической устойчивости, частоты плавучести и числа Веддерберна. Основной причиной их увеличения является рост температуры воздуха и снижение средней скорости ветра. Это способствует усилению термической стратификации в летний период и ухудшению кислородного режима водной толщи. Пока это не привело к росту содержания в воде растворенных веществ и биомассы фитопланктона, но в будущем, при сохранении существующих тенденций, может негативно сказаться на среде обитания рыб и других гидробионтов, а также на качестве воды.

Таким образом, в ближайшее время не прогнозируется серьезных изменений экологического состояния исследуемых озер под влиянием динамики метеорологических и климатических показателей и их термического режима, но необходимо дальнейшее сокращение поступления загрязняющих веществ с водосборов.

Выявленные связи между термодинамическими показателями и климатическими характеристиками позволяют на основе данных метеонаблюдений прогнозировать их величину при отсутствии данных наблюдений за температурой воды на рейдовых вертикалях. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку методики комплексной оценки устойчивости малых озер к изменению условий окружающей среды.

Список литературы

Lake analyzer web – [Electronic resource] – 2017 – Mode of access: http://Lake Analyzer.gleon.org – Date of access: 28.01.2017.

Read, J.S. Lake Analyzer Ver. 3.3 User Manual / J. S. Read, K. Muraoka // Global Lake Ecological Observatory Network, 2011, 21 p.

Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (до 1977 г. – «Гидрологический ежегодник») – Минск, 1965 – 2015.

Дмитриев, В.В. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. II. Методы интегральной оценки устойчивости наземных и водных геосистем / В.В. Дмитриев, А. Н. Огурцов // Вестник, 2013. – Сер. 7, вып. 3. – С. 88 – 103.

Примак, Е.А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Е.А. Примак.–Санкт-Петербург, 2009. – 24 с.

Суховило, Н.Ю. Роль метеорологических факторов в перемешивании водоемов Беларуси // Вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси [Электронный ресурс]: сборник научных статей: в 2 ч. Ч.2 / под ред. А.И. Павловского [и др.] // М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Электрон. текст. дан. (10,6 Mb). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. – С. 198 – 203.

Суховило, Н.Ю. Тепловой режим озер Белорусского Поозерья как фактор их экологического состояния // XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва: Российский государственный геологоразведочный университет, 5 – 7 апреля, 2017 г.: в 2 т.: доклады / под ред. В.И. Лисова, В.А. Косьянова, О.С. Брюховецкого. – Т. 2. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2017. – С. 99 – 100.

Суховило, Н.Ю. Формирование термической структуры водоемов Беларуси // Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 220-летию Ф.П. Литке в рамках XIII Большого географического фестиваля, Санкт-Петербург, 7 – 9 апреля 2017 г. – СПб: Свое издательство, 2017. – С. 233 – 239.

Meteorological conditions of the territory of Belarusian Poozerie as factor of lake's resistance to external impact

Sukhovilo N.Y.
Belarusian State University, Minsk
nina_s3894@mail.ru

Abstract: The article describes the results of the investigation of influence of climatic and meteorological conditions on the stability of lakes to external impact. The objects of the study are 5 lakes of the Belarusian Poozerie, with representative data series. The lakes studied have similar climate at their catchments and thermal regime of water mass, but different trophic state. The purpose of the work is the analysis of influence of meteorological conditions at the territory of Poozerie on the formation of lake's resistance to external impact. The investigation was based on methods of analysis, mathematical statistics and modelling. The online-model Lake Analyzer was used to calculate thermal stability, Wedderburn number and buoyancy frequency. In the course of the study, regularities for the changes in hydro- and thermodynamic parameters were established, depending on the morphometry of their basins and weather conditions, and the features of their influence on the stability of lakes to the external load were considered. The increase of thermal stability, Wedderburn number and buoyancy frequency occurs in all lakes. The main reason of this process is rising of air temperature and decreasing of mean wind speed. It cause intensification of thermal stratification in summer and decrease of oxygen concentration in water mass. It will have a bad effect on the environment and water quality in the future. The results obtained can be used to manage water ecosystems and determine the permissible load on them.

Keywords: Belarusian Poozerie, lake, meteorological conditions, climate, thermal stability, resistance to external impact, water exchange

Оценка процессов естественного восстановления осушенных болот Западной Сибири

***Харанжевская Ю.А.*[1,2], *Гашкова Л.П.*[1,2], *Синюткина А.А.*[1], *Магур М.Г.*[1], *Малолетко А.А.*[1]**
[1]*Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа-филиал СФНЦА РАН,*
[2]*Национальный исследовательский Томский государственный университет*
kharan@yandex.ru

Аннотация: В рамках данной работы проведена оценка процессов естественного восстановления осушенных верховых болот южно-таежной подзоны Западной Сибири. Проведенные исследования показали, что наибольшей интенсивностью восстановления характеризуется Бакчарское болото, меньшей Иксинское болото, а в пределах Усть-Бакчарского болотного массива индикаторов восстановления не обнаружено. Восстановление осушенных массивов связано с зарастанием осушительных каналов (на 60-90 %) и снижением их водопропускной способности, в этой связи наблюдается подпор уровней болотных вод, также статистически значимые тенденции изменения водно-теплового режима. В химическом составе осушенных участков болот отмечается повышенное содержание ионов Ca^{2+}, NH_4^+, SO_4^{2-}, HCO_3^-, CL^-, а также органических веществ, а в условиях отмеченных процессов восстановления происходит снижение концентраций веществ в болотных водах.

Ключевые слова: болота, восстановление, водно-тепловой режим, болотные воды, химический состав.

Введение

За последние десятилетия многие осушенные болота в Западной Сибири уже практически не используются, что приводит к существенным изменениям их водного и теплового режимов. Осушение болот связывают с опасностью возникновения торфяных пожаров, изменением биогеохимических циклов элементов (Ахметьева и др., 2014), загрязнением почв, вод и атмосферы, увеличением эмиссии углекислого газа, изменением флоры и фауны. Однако в условиях изменения климата и отмеченных тенденций увеличения температуры воздуха и атмосферных осадков на данной территории (Паромов и др., 2017) в перспективе, вероятно, стоит ожидать восстановления природных функций нарушенных болот. Восстановление болот может нивелировать негативные последствия, а мониторинг нарушенных болот представляет собой актуальную научную и прикладную задачи.

Материалы и методы

В рамках данной работы проведена оценка процессов естественного восстановления осушенных верховых болот южно-таежной подзоны Западной Сибири, которая включала целый спектр исследований: анализ современного состояния растительного покрова осушенных болот, определение структуры микрорельефа поверхности и анализ структуры торфогенного слоя торфяной залежи, оценка состояния и водопропускной способности осушительных каналов, тренд-анализ уровенного режима, водно-теплового режима и химического состава болотных вод. Исследования проводились в пределах 1 естественного болотного массива в центральной части Бакчарского болота (№2 на рисунке 1), и 3 верховых осушенных с целью лесомелиорации Бакчарском, Иксинском болотах и подготовленном для добычи торфа болоте Усть-Бакчарское (рисунок 1), расположенных в границах Томской области. В пределах каждого болотного массива выбиралась аналогичная пара участков, один из которых располагался в пределах осушительной сети, на равном расстоянии от каналов, а второй представлял собой его аналог, но расположенный на расстоянии как минимум 500 м от осушительной сети. Исследования проводились в пределах сосново-кустарничково-сфагнового

микроландшафта. В связи с тем, что в пределах Бакчарского болота (участки № 1 и № 2 на рисунке 1) проводится многолетний мониторинг (2000-2016) водно-теплового режима, установлены системы датчиков температуры, уровней болотных вод (разработчик ИМКЭС СО РАН), была выполнена попытка сравнить процессы восстановления болот на разных болотах южно-таежной подзоны Западной Сибири. Сравнение участков проводилось по результатам комплексной экспедиции в 2016 году.

Результаты

Проведенные исследования показали, что при отсутствии мероприятий по расчистке каналов, произошло уменьшение их водопропускной способности. На Бакчарском болоте откосы каналов имеют пологую форму (20°), отмечается 90 % их зарастание, в то время как на Иксинском болоте откосы более крутые (60°), плавающие дерновинки сфагновых мхов занимают 70 % поверхности каналов, процент зарастание каналов на Усть-Бакчарском болоте минимален.

Анализ современного состояния растительного покрова показал, что наиболее интенсивные процессы восстановления происходят в пределах Бакчарского болота (рисунок 2-3), в меньшей степени в пределах Иксинского болота, процесс восстановления растительности в пределах Усть-Бакчарского болота не обнаружен.

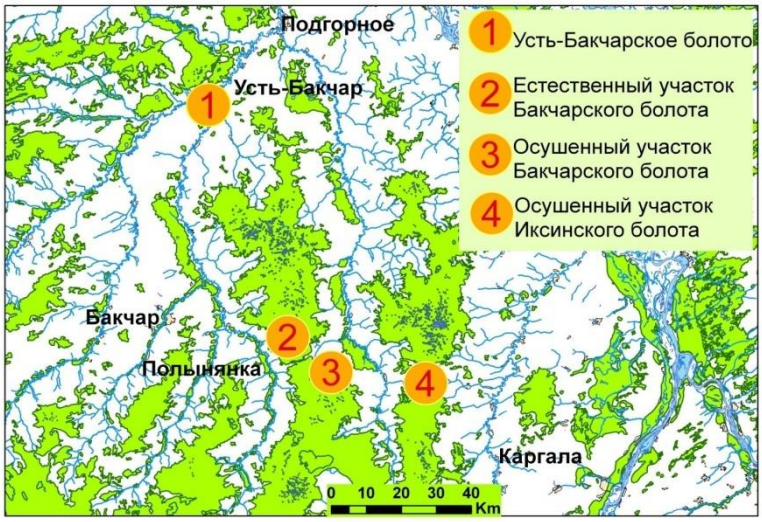


Рис. 1. Схема расположения объектов исследований

Получено, что основным индикатором восстановления болот является увеличение в моховом ярусе доли *Sphagnum magellanicum* и возрастание встречаемости сфагновых мхов; в кустарничковом - увеличение проективного покрытие *Andromeda polifolia;* в древесном снижение высоты *Pinus sylvestris,* что свидетельствует о гибели деревьев выше 4 м.

Анализ микрорельефа поверхности осушенных болот показал возрастание показателей расчлененности микрорельефа от естественных к осушенным с целью гидролесомелиорации болотам. Осушение болота с целью добычи торфа привело к выравниванию поверхности в результате активизации процессов разложения и просадки верхних слоев торфяной залежи.

Сравнительный анализ данных показал, что в пределах участка лесомелиорации Бакчарского болота отмечаются наиболее высокие отметки среднесезонных уровней вследствие подпора при зарастании каналов, в пределах Иксинского болота уровни близки к естественному участку Бакчарского болота, Усть-Бакчарское болото характеризуется максимальным снижением уровней до отметок - 82 см. Анализ многолетних колебаний уровней осушенного Бакчарского болота позволил отметить увеличение уровней

болотных в большей степени участка в границах осушительной сети, однако статистически значимой тенденции не обнаружено. Между тем статистически обоснованный тренд максимальных уровней болотных вод выявлен на всех участках осушенного Бакчарского болота. При этом статистических значимых тенденций в изменении годовых сумм атмосферных осадков за этот период не отмечается. Трендов изменения минимальных отметок уровней болотных вод также не обнаружено.

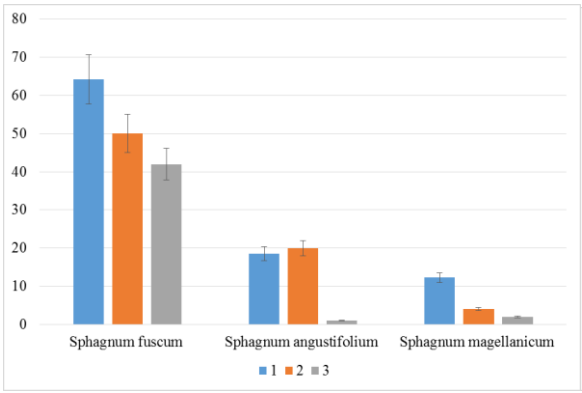


Рис.2. Соотношение частоты встречаемости видов сфагнума на участках разной степени дренированности (1-естественные участки в 500 м от осушительной сети, 2-восстанавливающийся участок Бакчарского болота, 3-осушенные участки)

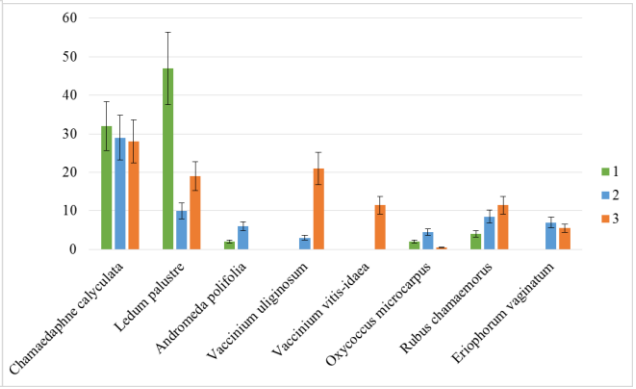


Рис.3. Проективное покрытие видов травяно-кустарничкового яруса на участках Бакчарского болота (1 – естественный участок Бакчарское болото, 2 – естественный участок Бакчарское болото в 500 м за пределами осушительной сети, 3 – осушенный участок)

Сравнительный анализ уровенного режима Бакчарского болота, Иксинского болота, болота Усть-Бакчарское показал, что в течение 2016 года отмечалась синхронность в колебании уровней практически на всех обследуемых участках. В течение вегетационного периода наблюдалось снижение уровней к середине сезона и подъем их в середине июля в условиях поступления атмосферных осадков и плавный спад к концу сентября (рисунок 4).

Рис.4. Уровенный режим участка лесомелиорации Бакчарского болота в границах осушительной сети и за ее пределами в 2016 году в сравнении с естественным участком Бакчарского болота (участок №2, фон)

Анализ температурного режима участка лесомелиорации Бакчарского болота за период 2000-2015 показал торфяная залежи участка за пределами осушительной сети характеризуется более высокими температурами торфяной залежи 8,6 ˚С чем осушенного участка 7,8 ˚С в ее границах. В среднем за многолетний период верхний 0-10 слой торфяной залежи осушенного пункта является менее прогретым по сравнению с естественным пунктом в среднем на 3 °С. Выявлено статистически значимое снижение температуры поверхностного слоя (0-10 см) торфяной залежи участка за пределами осушительной сети (пункт 1), осушенный участок (пункт 2) наоборот характеризуется некоторым увеличением температуры данного слоя, однако статистически значимой тенденции не обнаружено (рисунок 5).

Средняя величина влажности в слое 0-250 см за период наблюдения май-сентябрь 2007-2015 гг. на участке лесомелиорации Бакчарского болота составила 92,9 % для участка за пределами осушительной сети и 93,2 % для осушенного участка. В целом для торфяной залежи обоих участков характерно весьма схожее строение и поэтому отмечается закономерное снижение величины влажности с глубиной в условиях увеличения степени разложения и дисперсности торфа. Многолетняя динамика характеризуется некоторым увеличением влажности торфа в многоводный период, охватывающий 2009-2010 годы, ее снижение, и практически полное постоянство в 2011-2015 гг. Статистический анализ показал, что более глубокие слои торфяной залежи характеризуются тенденцией к снижению влажности торфяной залежи, и только верхние слоя торфяной залежи (10-30 см) характеризуются отсутствием отрицательной тенденции (рисунок 6).

Анализ закономерностей водно-теплового режима торфяной залежи Усть-Бакчарского и Иксиснкого болот не проводился, в связи с отсутствием данных.

Воды осушенного участка Бакчарского болота характеризуются как слабокислые, сверхпресные, гидрокарбонатные кальциевые с величиной минерализации вод (по сумме ионов) 26,8 мг/л для естественного участка (за пределами осушительной сети) и 26,3 мг/л для осушенного участка. Болотные воды обоих участков характеризуются весьма схожим составом, отличающимся лишь по отдельным компонентам. Наиболее существенные отличия в химическом составе участков в пределах осушительной сети и за ее границами наблюдаются по содержанию ионов NH_4^+: естественный участок – 8,37 мг/л, осушенный участок 8,92 мг/л. Отмечено также снижение в водах осушенного участка концентраций HCO_3^- в среднем в 1,25 раза. Таким образом, болотные воды осушенного участка является обедненными минеральными компонентами и наоборот обогащены органическим веществом. При этом болотные воды осушенного участка (в сравнении с естественным) характеризуются более высокими концентрациями фульвокислот 127 мг/л и меньшими гуминовых кислот 6,65 мг/л. Сравнение химического состава вод участка лесомелиорации Бакчарского болота с участком данного болотного массива (№ 2 на рисунке 1) находящейся в естественном состоянии показало, что отмечается более высокие концентрации Ca^{2+}, NH_4^+, SO_4^{2-}, HCO_3^-, CL^- в среднем в 1,3 раза на осушенной территории, увеличение минерализации вод составило 24 %. При этом, судя по химическому составу участок в пределах осушительной сети характеризуется наибольшей интенсивностью восстановления, а участок за пределами осушительной сети находится под влиянием осушения, в результате чего в химическом составе болотных вод отмечается повышение концентраци ионов NH_4^+, органических веществ (рисунок 7).

Воды Усть-Бакчарского болота слабокислые, сверхпресные сульфатного класса кальциевой группы с минерализацией вод 25,6 мг/л для естественного участка (за пределами осушительной сети) и 28,3 мг/л для осушенного участка (в пределах осушительной сети). В целом по макрокомпонентному составу болотные воды осушенного и естественного участков исследования в пределах Усть-Бакчарского болотного массива весьма схожи, однако отмечены некоторые различия в содержании микрокомпонентов и газовом составе. В качестве небольших отличий ионно-солевого состава следует отметить более высокие (в 1,4 раз) концентрации Ca^{2+}, CL^-в водах

осушенного участка. В пределах Усть-Бакчарского болота, судя по химическому составу процесс восстановления, не отмечается, однако процессы деградации торфяной залежи болота также не выявлены.

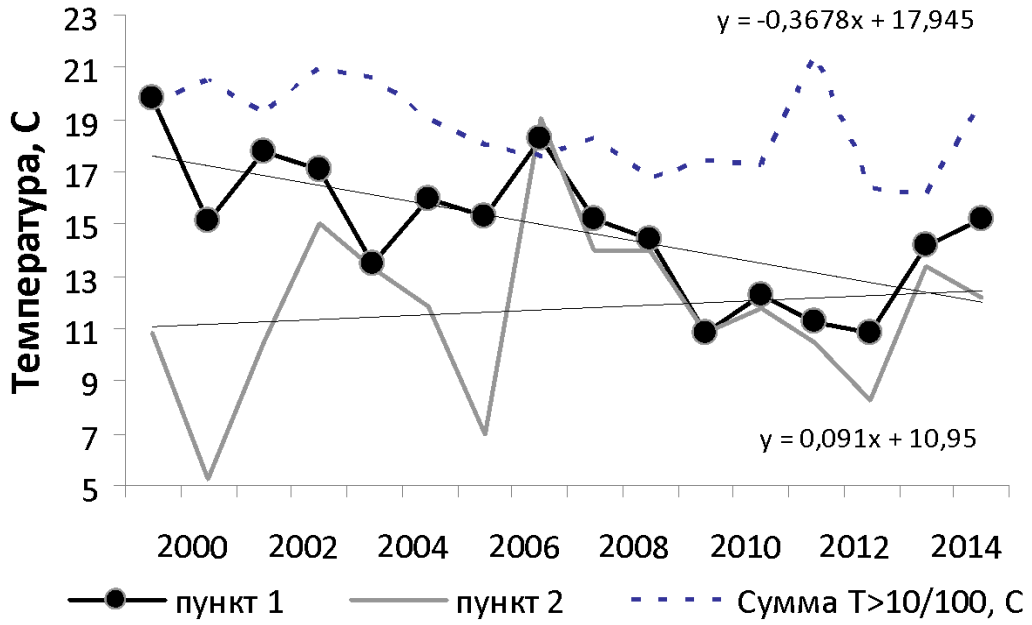


Рис. 5. Температурный режим (в среднем за май-сентябрь 2000-2015 гг) верхнего слоя (0-10 см) торфяной залежи участка лесомелиорации Бакчарского болота и сумм активных температур воздуха по метеостанции у с. Бакчар, Σ>10/100, С (пункт 1- участок в 500 м за пределами осушительной сети, пункт 2 – участок в границах осушительной сети)

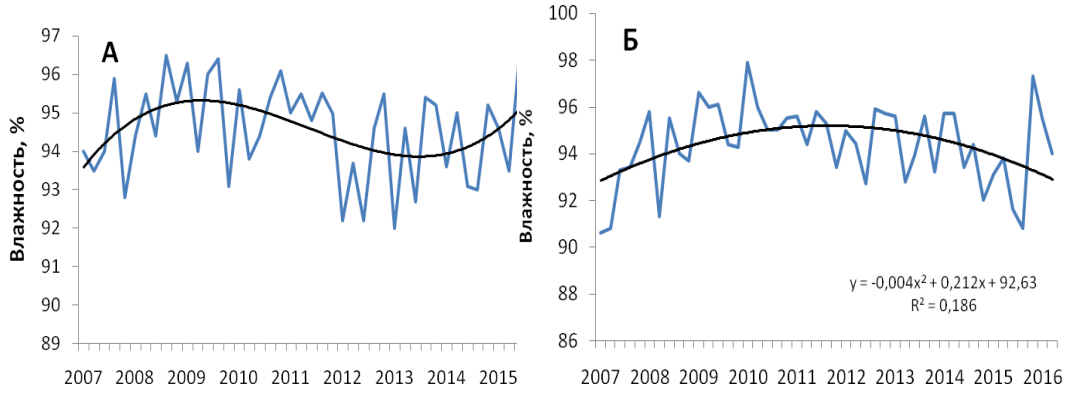


Рис. 6. Многолетняя динамика влажности торфа в слое 20-30 см участка за пределами осушительной сети (А) и в слое 10-20 см осушенного (Б) участков Бакчарского болота (2007-2015)

Воды Иксинского болота по составу сульфатного класса кальциевой группы сверхпресные, слабокислые с минерализацией 34,5 мг/л. Воды осушенного участка отличаются повышенным содержанием ионов Na^+, CL^-, HCO_3^-. Кроме того, отмечены экстремально высокие концентрации органически веществ, ХПК вод составил 285 мгО/л, при этом концентрации гуминовых кислот составили 14,7 мг/л, фульвокислот 153 мг/л.

Выводы

Проведенные исследования показали, что наибольшей интенсивностью восстановления характеризуется Бакчарское болото, меньшей Иксинское болото, а в

пределах Усть-Бакчарского болотного массива индикаторов восстановления не обнаружено. Восстановление осушенных массивов связано с зарастанием осушительных каналов (на 60-90 %) и снижением их водопропускной способности, в этой связи наблюдается подпор уровней болотных вод, что благоприятствует процессу восстановления растительности. Отмечено увеличение в моховом ярусе доли *Sphagnum magellanicum* и возрастание встречаемости сфагновых мхов; в кустарничковом - увеличение проективного покрытие *Andromeda polifolia*, а также статистически значимые тенденции изменения водно-теплового режима. В химическом составе осушенных участков болот отмечается повышенное содержание ионов Ca^{2+}, NH_4^+, SO_4^{2-}, HCO_3^-, CL^-, а также органических веществ, а в условиях отмеченных процессов восстановления происходит снижение концентраций веществ в болотных водах.

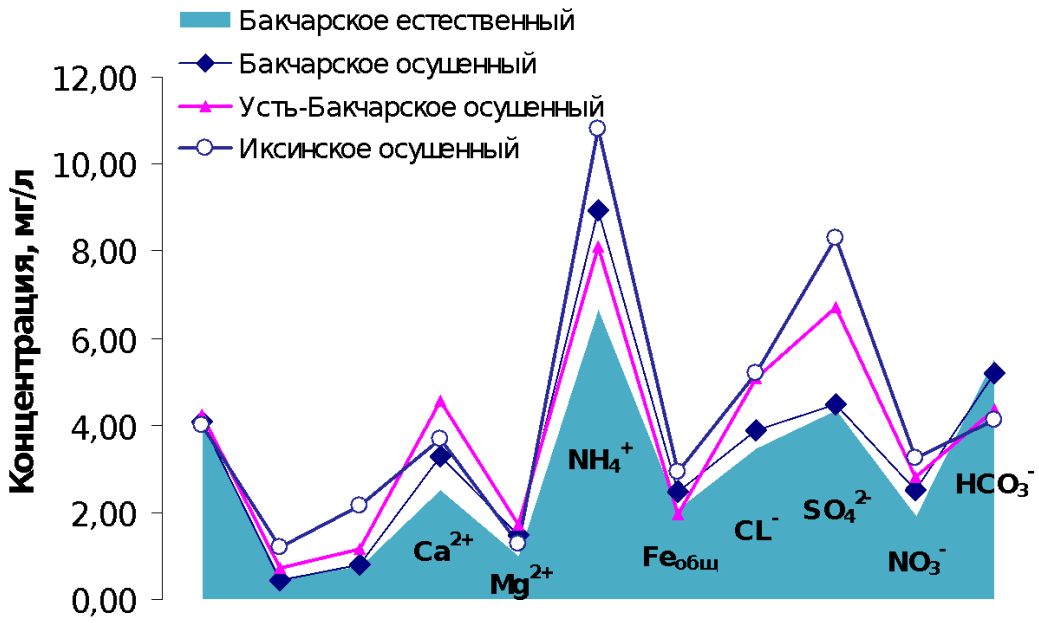


Рис. 7. Спектр химического состава болотных вод

Список литературы

Ахметьева Н.П., Белова С.Э., Джамалов Р.Г., Кулическая И.С., Лапина Е.Е., Михайлова А.В. Естественное восстановление болот после пожаров // Водные ресурсы. 2014. Т.41. № 4. С. 343-354.

Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986-2015 гг.) и (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021–2030 гг. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 1. 62–74.

Estimation of the processes of natural restoration of drained bogs in Western Siberia

Kharanzhevskaya Yu. A. [1,2], ***Gashkova L.P.*** [1,2], ***Sinyutkina A.A.*** [1], ***Magur M.G.*** [1], ***Maloletko A.A.*** [1]
[1]*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences*
[2]*National Research Tomsk State University*
kharan@yandex.ru

Abstract: In this work, an assessment was made of the self-restoration of drained bogs in the southern taiga subzone of Western Siberia. The conducted studies showed that the Bakchar bog, the smaller Iksinsky bog, is characterized by the greatest intensity of recovery, and no recovery indicators were found within the Ust-Bakchar bog. Restoration of drained bogs is associated with the overgrowing of drainage canals (by 60-90%) and a decrease in their culvert capacity, in this regard, a backwater of groundwater levels is observed, as well as statistically significant trends in the change in the water-heat regime. In the chemical composition of drained areas of bogs there is an increased content of ions Ca^{2+}, NH^{4+} , SO_4^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, and also organic substances, and under the conditions of the mentioned reduction processes, the concentrations of substances in waters decrease.

Keywords: bogs, self-restoration, water-heat regime, waters, chemical composition.

Освоение речных долин человеком в каменном веке

Шашерина Л.В.
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва
lida.sh.vs@gmail.com

Аннотация: Речная долина – хранитель истории развития сформировавшего её потока. Кроме собственно морфометрических и литологических характеристик флювиальных форм рельефа, расположенных над руслом, долины содержат и археологическую информацию о людях, первыми достигших её берегов. Таковыми были люди палеолита, которые постепенно обживали речные пространства, продвигаясь на север. На основе опубликованных данных нами была прослежена последовательность освоения палеолитическими людьми речных долин территории бывшего СССР и предпочтительность заселения долин по сравнению с междуречными территориями. Важной задачей так же было объяснение значения изучения палеолитических стоянок в целях палеогидрологии.

Ключевые слова: геоархеология, палеогидрология, палеогеография, флювиальная геоморфология, палеолит.

Введение

К берегам рек приурочено наибольшее количество археологических стоянок разных эпох, что вполне объяснимо экологической потребностью людей селиться вблизи постоянных водотоков, будь то равнинная или горная территория. Археологические памятники палеолитических людей вблизи рек известные повсеместно на планете и отличаются, во-первых, возрастом культурных слоёв (эпох заселения), и, во-вторых, геоморфологической позицией в речной долине. История освоения человеком речных долин водотоков разного ранга основана на анализе значительного количества палеолитических местонахождений.

На основе литературных источников было проанализировано 57 геоморфологических положений для 65 палеолитических стоянок и групп стоянок, которые можно подразделить на 6 условно-генетических групп:

1. водораздельные – 6 позиций;
2. склоновые – 2 позиции;
3. пещерные и гротовые – 11 позиций;
4. флювиальные – 31 позиция;
5. морские - 5 позиций;
6. невыясненного генезиса – 1 позиция.

К формам рельефа в пределах речных долин относятся 36 позиций (31 флювиальная +1 склоновая +4 пещерные и гротовые), что составляет 63% всех геоморфологических позиций изученных памятников (рис.1, табл. 1).

Заселение территории бывшего СССР началось в конце раннего палеолита на Кавказе и Прикубанье, в Приазовье, Молдавии, Средней Азии, Южном Казахстане, на Алтае и Приамурье (Природа и древний человек, 1981). Многие речные системы в то время были значительно менее врезаны, чем сейчас, так что теперь памятники олдувайской и ашельской культур находятся на высоких террасах и их уступах. Например, древнейшая палеолитическая стоянка Восточной Европы Байраки в долине Днестра расположена на его VII надпойменной террасе. Кроме низовий Днестра, в олдувайскую эпоху (2 млн. лет — 700 тыс. лет назад) предки человека освоили низовья Дона и палеодолины рек Кавказа (Чепалыга и др, 2012).

Основные **ашельские** (700 тыс.— 150—120 тыс. лет назад) местонахождения сосредоточены в бассейне Днестра и на Азовском побережье, а также в бассейне Кубани.

В Приазовье и низовьях Дона и Кубани находки связаны с разновозрастными террасами, по которым можно провести корреляцию между эпохами обитания древнейших людей и этапами развития системы Черного и Азовского морей (Природа и древний человек, 1981).

Архантропы, обитавшие в ашеле, были современниками значительных изменений климата, а значит и гидрологии. Чередования ледниковых и межледниковых условий были крайними проявлениями климатических колебаний, направленных в сторону ухудшения климата, что сказывалось на расселении человека. На это накладывались так же постоянные регрессии южных морей.

В **мустьерскую** (150—120 тыс.— 35—30 тыс. лет назад) эпоху ландшафты приняли облик, почти соответствующий современному, тундровая зона сокращалась, а долины большинства рек имели близкий к современному облик. Теплые атлантические воды в северных морях проникали на многие километры восточнее, чем сейчас, чем обуславливался более благоприятный влажный климат, позволивший человеку расселиться дальше на север.

Рис. 1 Карта палеолитических стоянок в речных долинах

Выделяются несколько районов мустьерских памятников: Кавказ, Прикубанье, Крым, бассейн Днестра и Прута – уже известные древнему человеку территории – и Центр Русской равнины, Средняя Азия. Район нижней Волги был заселён именно на этом этапе истории. С недавних пор доказано, что в мустьерское время древним людям удалось частично заселить Сибирь, в том числе Алтай, и Дальний восток. Самая известная стоянка того времени, относящаяся к данной территории – Усть-Канская пещерная, расположенная в долине реки Чарыша (Алтай) (Природа и древний человек, 1981).

Таким образом, люди палеолита осваивали речные долины по мере их высвобождения от ледниковых и суровых перигляциальных условий. По сравнению с междуречными позициями, местообитания в долинах имеют много преимуществ и заселяются в несколько раз чаще.

Геоархеологические интерпретации в целях палеогидрологии являются альтернативным методом изучения истории развития речных долин.

Поздний палеолит (30—35 тыс. лет назад— 10 тыс. лет назад) был эпохой, когда люди освоили различные природные области от пустынь до тундр. Они известны на средней Печоре, в низовьях Алдана и средней Лены, в долинах Олёкмы, Вилюя, Индигирки, Яны, Колымы и на Камчатке, на Кавказе и в Средней Азии. В Туркмении известны местонахождения в ныне безводных и пустынных районах. Самая северная, заполярная, стоянка каменного века – Мамонтовая Курья – расположена на левом берегу реки Уса, правом притоке Печоры (Svendsen, Pavlov, 2004).

Особенно многочисленны верхнепалеолитические памятники на Десне - от Брянска до Киева (Мезинская стоянка), памятники района Днепровских порогов нижнего Днепра и его притоков (Кайстровая Балка, Дубовая Балка и другие). Несмотря на геолого-геоморфологическое разнообразие бассейна Днепра, стоянки имеют сходные условия залегания, располагаясь главным образом на низких надпойменных террасах. Также люди освоили долину среднего течения Дона (стоянки Костёнковско - Борщевского района), бассейн Клязьмы (стоянка Сунгирь) и Среднее Поволжье.

Стоянки Сибири составляют несколько групп, вследствие своей неравномерной распространённости. Енисейская группа: а) в районе Красноярска, б) в районе Чулымо – Енисейской котловины; Ангарская; Ленская группа в верховьях; Забайкальская - бассейн Селенги и ее притоков и, наконец, Алтайская группа (Природа и древний человек, 1981).

До недавнего времени верхний палеолит на Дальнем Востоке не был известен. Теперь же открыт ряд стоянок в бассейне Амура.

Проблема взаимодействия древнего человека и рек вызывает всё больший интерес, ставя перед исследователями вопросы: чем руководствовался древний человек, выбирая место поселения у реки, как он использовал водные ресурсы, влиял ли человек хоть сколько-нибудь на гидрологические характеристики речных систем?

Изучение стоянок в долинах рек требует информации о том, где было русло реки в определённый временной отрезок, как оно функционировало, какую территорию затопляла река, на какой высоте над рекой были современные террасы.

Особый интерес представляет проблема выбора места поселения человеком, главным образом на многослойных стоянках, ведь какие-то особенности рельефа и гидрографии местности заставляли палеолитических людей снова приходить на один и те же места.

Но главный вопрос для геоморфологов, гидрологов и палеогеографов: как мы можем использовать археологические данные палеолитической и более поздних эпох в целях палеогидрологии? Практическая сторона данной проблемы хорошо изучена: геоархеологичский метод – косвенный метод изучения гидрологических изменений в доинструментальный период. Среди характеристик, получаемых с помощью археологических данных, выделяют: 1) чередование многоводных и маловодных периодов – оценка положения археологического комплекса над современным уровнем водоёма, как показатель состояния водоёма в определённую геологическую эпоху; 2) оценка высоты подъема паводков реки в период существования поселения, основанная на характере залегания культурного слоя, его цельности или нарушенности; 3) конфигурация палеодолин по топографии культурного слоя определённого возраста.

Табл. 1 Палеолитические стоянки в речных долинах

Географический регион	Стоянка	Номер на карте	Геоморфологическое положение и (или) генетический тип рельефа
		Олдувай	
Бассейн Днестра	Байраки	1	балка, врезанная в VII НПТ
		Ашель	
Бассейн Кубани	*Абадзехское местонахождение*	2	склон высокой террасы
	Карьер Цимбал	3	карьер
Приазовье и низовья Дона	*Хрящи*	4	бечевник и базальный горизонт III НПТ
	Михайловское	4	III НПТ
Бассейн Днестра	*Лука Врублевецкая*	5	песчано-галечный пляж у основания террасы
Мустье			
Бассейн Днестра и Прута	*Молдова I*	6	делювиальный шлейф на аллювии 2 НПТ
	Молдова V	6	склон 3 НПТ (делювиальный шлейф)
	Стинковская группа	7	IV НПТ
	Старые друиторы	8	грот
	Хотылёвская	9	базальный горизонт аллювия 3(4) НПТ
Приазовье	*Рожок I*	10	сниженный участок террасы
Бассейн Волги	*Волгоградская*	11	полого наклонная поверхность, прислонённая к коренному склоны долины
Крым	*Пещера Староселье*	12	склон балки
	Ак-кая I-IV	13	обрывистый барьер, находящийся в 10-15 м от днища балки
	Заскальная V и VI	13	обрывистый барьер, находящися в 10-15 м от днища балки
Кавказ	*Ильская*	14	третья (12 - 15 м) НПТ
Средняя Азия	*Кара-Бура*	15	депрессия долины
	Усть-канская	16	пещера
Поздний паелеолит			
Долина Днестра	*Молодова I, V Кормань IV*	6	в основном III, II НПТ, реже поверхности более высоких террас, их склоны, иногда, водоразделы
Долина Днепра	*Кайстровая Балка, Осокоривка, Дубовая Балка, Ямбург*	17	в основном низкие НПТ, реже склоны долин и междуречья
Бассейн средней Десны	*Мезинская*	18	пологий склон долины, прорезанный древней балкой (привязан ко 2 НПТ)
	Тимоновка	19	пологий склон водораздельного плато
Бассейн Дона	*Костёнковско-Борщевской район*	20	вторая и первая НПТ Дона и впадающие в него крупные древние балки (логи)
Бассейн Клязьмы	*Сунгирь*	21	долина ручья
Бассейн Печоры	*Бызовая*	22	устьевая части лога (террасы)
	Медвежья пещера	23	передняя часть грота
	Мамонтова Курья	24	базальный горизонт НПТ
Крым	*Сюрень I*	25	пещера на склоне ущелья
Долина Енисея	*Таштык I (нижн.), Кокорево I, Кокорево II (нижн.), Кокорево IV*	26	вторая НПТ
	более молодые слои этих стоянок		вторая НПТ
Бассейн Ангары	*Мальта, Буреть, Военный госпиталь*	27	третья НПТ
	Мальта	27	
	Красный Яр, Черемушник и др.	28	вторая НПТ
	Усть - Белая и др.	29	первая НПТ
Бассейн Яны	*Янская*	30	вторая НПТ
Бассейн Алдана	*Усть - Миль II, Ихине II*	31, 32	третья НПТ
	Нижне - и Верхне - Троицкие стоянки	33	вторая НПТ
	Дюктай	34	пещера
Дальний восток	*Осиновская*	35	пещера
	Ушки	36	первая НПТ

Список литературы

Природа и древний человек: (Основные этапы развития природы, палеолитического человека и его культуры на территории СССР в плейстоцене) // Г.И. Лазуков, М.Д. Гвоздовер, Я.Я. Рогинский и др., М: Мысль, 1981, 223 с.

Чепалыга А.Л., Амирханов Х.А. Садчиков Т.А. и др. Геоархеология олдувайских стоянок горного Дагестана //Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода, №72, 2012: 73-94

Чепалыга А.Л., Анисюткин Н.К., Садчиков Т.А. Древнейшая в Восточной Европе палеолитическая стоянка Байраки на Днестре: возраст, палеоландшафты, археология // Бюллетень комиссии четвертичного периода, №71, 2011: 75-94

Svendsen, J.I., Pavlov, P., 2004. Mamontovaya Kurya - an enigmatic, nearly 40,000 years old Palaeolithic site in the Russian Arctic. In: Zilhao, J., d'Ericco, F. (Eds.), The Chronology of the Aurignacien and the Transitional Technocomplexes --Dating, Stratigraphies, Cultural Implications. Trabalhos de Arqueologia, 33. Lisboa, Instituto Portugues de Arqueologia, 2003: 109-122.

The occupancy of river valleys by human in the Stone Age

Shasherina L.V.
Moscow State University, Moscow
lida.sh.vs@gmail.com

Abstract: River valleys preserve a history of development of a forming flow. This history can be derived from own morphometric and lithological features of fluvial landscapes and also from archeological remains of pioneer people. Paleolithic people were the first who gradually occupied river valleys, moving toward the North. The research is based on published data about archeological sites of different Paleolithic cultures. We traced the way of people occupying of river valleys on the USSR territory, estimated the value of occupied river valleys compared with interfluves. The study of Paleolithic sites for the purposes of paleohydrology is another important topic we mentioned in the article.

Keywords: geoarcheology, paleohydrology, paleogeography, fluvial geomorphology, Stone Age.

Причины вторжения соленых вод (поступления морской воды) в дельту реки Меконг (Вьетнам) и их воздействие на её состоянние

Чан Х. Т.
Пермский государственный национальный исследовательский университет
t.huynhthao@gmail.com

Аннотация: Целью работы стал анализ причин поступления морской воды в дельту реки Меконг, находящуюся на территории Вьетнама, и динамика воздействия соленых вод на нее. В последние годы вторжение соленых вод в дельту Меконга имеет очень сложный характер, происходит достаточно внезапно и нетипично. В прибрежных провинциях дельты Меконга поступление морской воды в реки и каналы приводит к тому, что на реках происходит засоление, которое имеет большое негативное влияние на жизнь проживающих здесь людей и ведение сельскохозяйственной деятельности. Чтобы прояснить ситуацию с проникновением соленой воды в район дельты Меконга в частности, и в устьевые районы Вьетнама в целом, в статье мы дан анализ причины вторжения и последствий их воздействия. Вторжение соленых вод вызвало серьезные последствия, сказалось на жизни населения и деятельности предприятий, расположенных в дельте Меконга. В целом, увеличение солености воды начинается с февраля и увеличивается до начала мая. На некоторых реках соленость выше 45 ‰, может проникать до 70 км от их устья, а даже в некоторых местах до 85 км. Если дождя нет, то вторжение соленых вод в реки может продлиться до июня, и даже до июля. Дельта Меконга играет очень важную роль для национальной продовольственной безопасности. Население и прибрежная экономика дельты Меконга занимает важное положение в экономическом развитии дельты. Поэтому необходимо учитывать и контролировать любые неблагоприятные эффекты, которые дестабилизируют этот район, особенно вторжение соленных вод.

Ключевые слова: река Меконг, Вьетнам, вторжение соленых вод, дельта реки

Введение

Река Меконг – одна из крупнейших рек мира и самая большая река Юго-Восточной Азии, берет начало в Тибетском нагорье, на высоте 5000 м, площадь бассейна 795 000 км^2, длина 4880 км, протекает по территории Китая, Лаоса, Камбожды, Вьетнама, в том числе по границе Лаоса с Мьянмой и Таиландом, и впадает в Южно-Китайское море (рис.1). Меконг в своем нижнем течении распадается на 9 ветвей. Суммарный среднегодовой расход реки составляет около 500 км.3. До 80% стока формируется в сезон дождей, что вызывает наводнение на 60 % площади исследуемой территории. При наводнении высота столба воды достигает 3-4 м.

Равнина на 40 % площади подвержена влиянию морских отливов и приливов, которые в основном контролируют течение воды в искусственных и естественных каналах. Поэтому вода в них часто соленая с минерализацией, достигающей 35 г/л. Только в течение нескольких месяцев сезона дождей вода в каналах - пресная.

Для района характерен субтропический климат с двумя четко выраженными во времени сезонами, примерно разной продолжительности. Среднемноголетняя сумма осадков составляет ~ 1800 мм/год, однако они неравномерно-распределены в течение года. В сезон докдей выпадает до 90 % годовой суммы осадков, относительно равномерно распределяющейся по месяцам. Минимум атмосферных осадков приходится н а январь, февраль и г/арт.

В исследуемом районе отмечается относительно высокое испарение (до 1750 мм/год) - также неравномерное во времени. В сухой сезон испаряется до 60 % годовой величины, что в 5-6 раз превышает количество выпавших атмосферных осадков.

Дельта Меконга (дельта реки Девяти драконов) — регион, расположенный в юго-западной части Вьетнама, где река Меконг впадает в море, предварительно разделяясь на множество рукавов. Дельта занимает большу́ю часть юго-западного Вьетнама, площадь которого — 39 000 км².

Дельта Меконга находится в южной части страны. На северо-востоке граничит с Хошимином, на востоке и Юге - с Восточным морем, на севере - с Камбоджей, на западе с Восточным морем и Сиамским заливом. Дельта Меконга состоит из 13 провинций: Кан тхо, Лонг Ан (Long An), Тиен Зянг (Tien Giang), Бенче (Ben Tre), Донг Тхап (Dong Thap), Ан Зянг (An Giang), Винь Лонг (Vinh Long), Хау Зянг (Hau Giang), Ча Винь (Tra Vinh), Шок Чанг (Soc Trang), Киен Зянг (Kien Giang), Бакльеу (Bac Lieu), (Камау (Ca Mau) (рис.1).

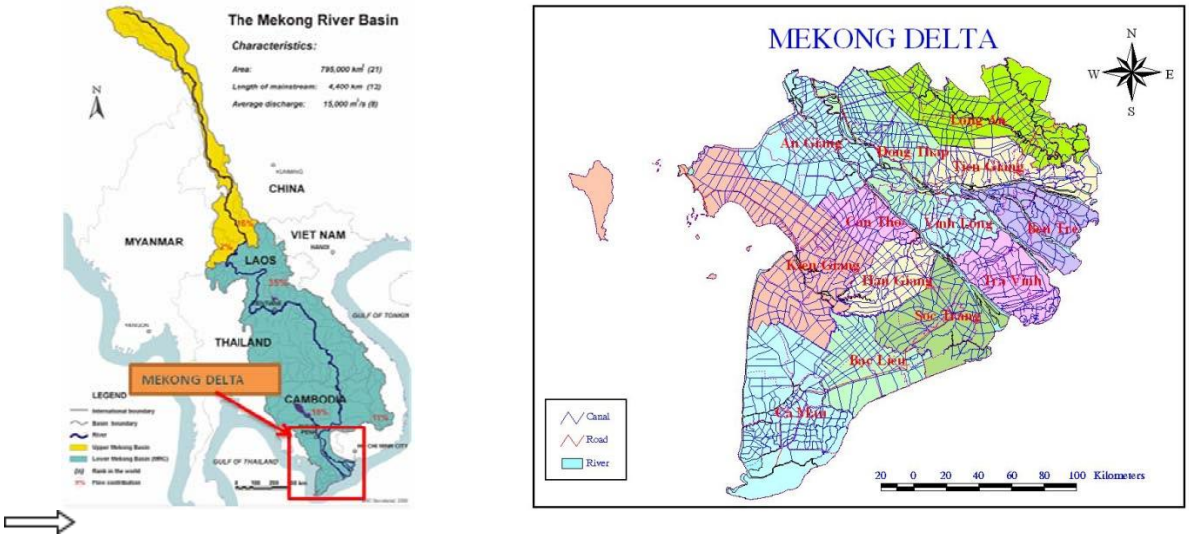


Рис 1. Схема водосборного бассейна и дельты реки Меконг

Это одна из самых больших и плодородных дельт Юго-Восточной Азии и мира вцелом. Дельта Меконга включает два больших водоема: река Меконг и морской залив (с действием сильных приливных и отливных течений), поэтому гидрологический режим этого района довольно сложен, находится под влиянием вод, поднимающихся вверх по течению реки Меконг за счет приливов в Восточном и Западном морях. В этом случае вода с соленостью, равной 4 ‰ (S = 4‰), при приливах, повышении уровня моря или дефиците пресной воды глубоко внедряется в пределы вод реки Меконг.

Результаты и обсуждение

В последние годы вторжение соленых вод в дельте Меконга происходит очень часто, поступление морской воды в реки и каналы приводит к их засолению, что осложняет жизнь людей и затрудняет сельскохозяйственную деятельность. Например, в первые месяцы 2016 года вторжение соленых вод в дельту Меконг оценивалось, как самое значительное поступление морской воды за последние 100 лет и по прогнозам в будущем году будет еще больше.

Факторы, влияющие на вторжение соленой воды. Таким фактором являются подземные воды. Активное использование подземных вод приводит к смещению поверхности раздела между пресной и морской водой. Это вызывает повышение или понижение уровня подземных вод. При понижении уровня в подземные горизонты

поступают соленые воды. Этому могут способствовать изменения, связанные с изменением климата (повышение температуры и уменьшение осадков) и с активизацией землепользования (Влияние изменения…, 2012).

Степень проникновения морской воды в пресные речные воды зависит и от таких факторов, как:

- Расход впадающей в море реки (верхней по течению) уменьшается, и соленая вода внедряется в речную.
- Амплитуда прилива в области устье: в период прилива (полная вода) происходит проникновение соленой воды в речную сеть.
- Ландшафт: плоская местность является благоприятным фактором для проникновения соленой воды в дельту реки.
- Метеорологические факторы: при ветре, направленном от моря к материку, высокой температуре, небольших осадках наблюдается вторжение соленой воды в пресные.
- Экономическая деятельность человека: увеличение спроса на пресную воду в сухой сезон ведет к сокращению ресурсов подземных вод, что повышает риск засоления (Le A. T., 2008).

Вьетнам имеет более 3000 км береговой линии, миллионы людей, живущих здесь, эксплуатируют морские ресурсы. Поступление морской воды происходит в большинстве прибрежных районов, что приводит к неблагоприятным последствиям для производственной деятельности и повседневной жизни людей, особенно у устьев рек, впадающих в море. Двумя основными дельтами Вьетнама являются Дельта Красной Реки и Дельта Меконга, которые чаще всего страдают от морских вод. Проникновение вод с соленостью 4‰ может достигать 50 - 57 км (рис.2). В течение дня обычно бывает два пика солености и два ее понижения. Обычно соленые пики отмечаются через 1-2 часа после установления максимального уровня воды (он поднимается на 20-30 см). В эстуариях соленость имеет дневной цикл, 15-дневный цикл и месячный цикл, аналогичный циклу прилива (Обзоры…, 1993-2000).

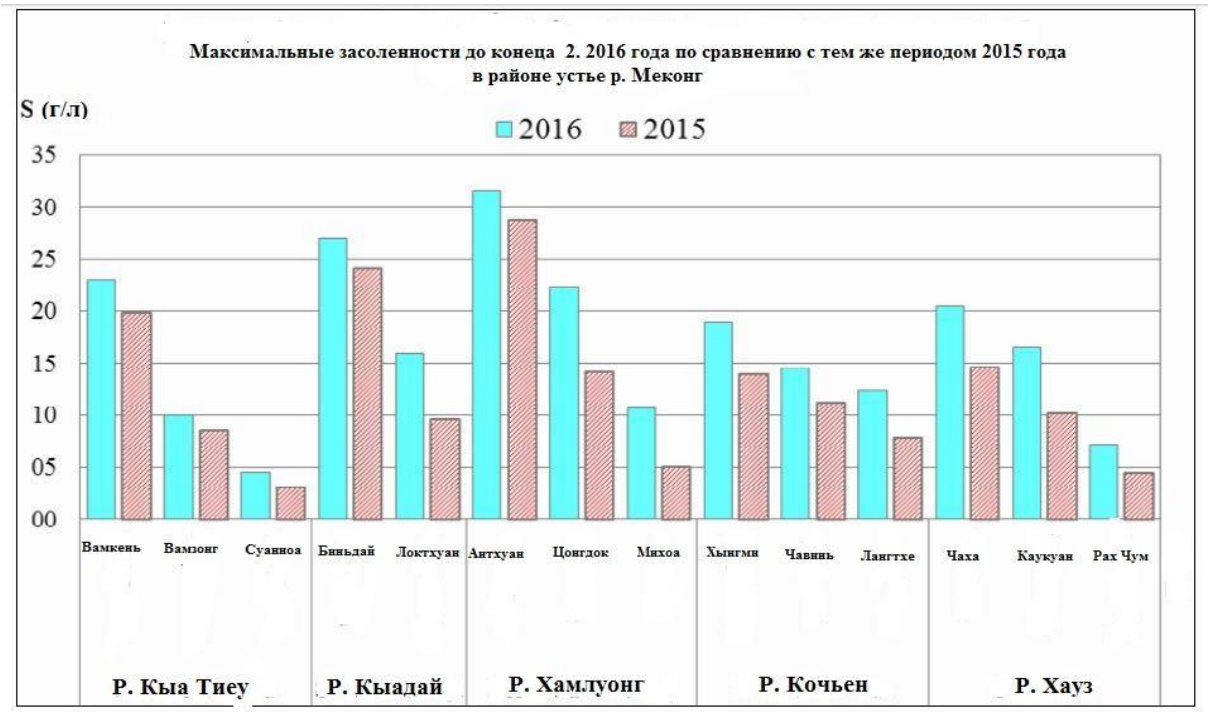


Рис. 2. Максимальная соленость воды в 2015 и 2016 гг. в районе устья р.Меконг (Отчет о вторжении…, 2016)

Заключение

Вторжение соленых вод вызвало серьезные последствия, сказалось на жизни населения и деятельностипредприятий, расположенных в дельтеМеконга. Повышение солености воды начинается с февраля и увеличивается до начала мая. На р. Тьен и р. Хау соленость выше 45 ‰, может проникать до 70 км от устья реки, а даже в некоторых местах до 85 км. Если дождя нет, то вторжение соленых вод в реки может продлиться до июня, и даже до июля (Le H.T., 2013).

Если, как предсказывают некоторые ученые и Межправительственная группа экспертов по изменению климата, уровень моря в 2050 году увеличится до 2 м по сравнению с настоящим, так прибрежные низины подвергнутся риску затопления, а проникновение солей на континент будет прогрессирующей тенденцией в прибрежной зоне.

Дельта Меконга играет очень важную роль для национальной продовольственной безопасности. Население и прибрежная экономика дельты Меконга занимает важное положение в экономическом развитии дельты. Поэтому необходимо учитывать и контролировать любые неблагоприятные эффекты, которые дестабилизируют этот район, особенно вторжение соленных вод.

Список литературы

Влияние изменения климата и изменений в землепользовании на вторжение соленой воды (EOE) / http://www.eoearth.org/view/article/152361/, 2012

Le A. T. Экологическая гидрология // http://www.leanhtuan.com/pdf/GT_ThuyVanMoiTruong.pdf; Кантхо Университет, 2008

Ле С. Обзоры исследования соли и перца в дельте Меконга //. Институт морских наук, Министерство сельского хозяйства и развития сельских районов, 1993-2000

Le H.T. Научные исследования по выявлению причин и предложению решений вторжения солености в контексте изменения климата в дельте Меконга /Департамент управления водными ресурсами, 2013

Отчет о вторжении засоления в устьях дельты Меконга и предлагаемые решения по борьбе с засухой (VAWR) / Вьетнамская академия водных ресурсов, 2016

Causes of invasion of salt water (increasing sea water) in the delta in the Mekong river (Vietnam) and their impact on its state

Tran H. T.
Perm State University
t.huynhthao@gmail.com

Abstract: The purpose of the study was to analyze the causes of seawater inflow into the Mekong Delta located on the territory of Vietnam and the dynamics of the impact of saline waters on it. In recent years, the intrusion of saline waters into the Mekong Delta is very complex, occurring quite suddenly and atypically. In the coastal provinces of the Mekong Delta, the flow of sea water into rivers and canals leads to salinization on the rivers, which has a great negative impact on the lives of people living here and the conduct of agricultural activities. In order to clarify the situation with the penetration of salt water into the Mekong delta region in particular and into the estuarine areas of Vietnam as a whole, the article gives an analysis of the cause of the invasion and the consequences of their impact. The invasion of salt water caused serious consequences, affected the lives of the population and the activities of enterprises located in the Mekong Delta. In general, the increase in water salinity begins in February and increases until early May. On some rivers salinity is above 45 ‰, it can penetrate up to 70 km from their mouth, and even in some places up to 85 km. If there is no rain, the invasion of saline waters into the rivers can last until June, and even until July. The Mekong Delta plays a very important role for national food security. The population and coastal economy of the Mekong Delta occupies an important position in the economic development of the delta. Therefore, it is necessary to take into account and monitoring any adverse effects that destabilize this area, especially the invasion of saline waters.

Keywords: Mekong River, Vietnam, salt water intrusion, river delta

Simulation of Water Yield in Different Plant Types Based on InVEST Model

Mehrnaz Haghdadi, Gholamali Heshmati, Mojgan Sadat Azimi, Hamid Siroosi
Rangeland Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Mehrnaz.haghdadi@gmail.com

Abstract: Water yield is a key ecosystem service in watersheds. Calculation and mapping of Water yield has a great importance in water resource planning and management especially in arid and semi-arid regions. In this study we estimated water runoff in different plant types in Delichaee Watershed which located in semi-arid area of Iran. We focused on the impact of plant type on water yield, because Plant cover influence ecosystem properties, processes and components, which are the basis for providing services. Simulations were performed by using the InVEST 3.3.2 (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) that developed by the Natural Capital Project. The water yield model is based on the Budyko hydrological Framework and Input data include basin boundary map, precipitation, potential evapotranspiration, soil depth, plant available water, land use and vegetation cover, as well as a biophysical specification table. After obtaining the initial results and comparing it with actual runoff data in watershed outlet, the model was calibrated by the hydrologic parameter Z. According to the results, the amount of water yield in whole Delichaee watershed is about 42 million cubic meters. The maximum amount of water yield in rangeland types is in *Perennial grasses-Astragalus gossypinus* with 2112.690 cubic meter per hectare and the lowest amount of water yield is 511.287 cubic meter per hectare in *Juniperus* ecological niche. Vegetation types that are shrub-type, due to the presence of a broader canopy and deep root system absorb more water and in contrast to grass-type that absorb less water. One the other hand, physiographic and climatic factors have a great impact on the amount of water yield, among these factors, elevation and precipitation are the most effective ones.

Keywords: Ecosystem Services, Water Yield, InVEST, Plant type

Introduction

Water yield is one of the most valuable ecosystem services in the world (Brisbane Declaration, 2007). Water yield is strongly dependent on watershed characteristics such as topography, vegetation, land use and climate (De Groot et al., 2010).

Due to the increasing importance of water yield from the past to the present, and mounting pressure that comes from climate change, population growth and management decisions on water resources, assessment of it is necessary (Meijer et al., 2012). There has been a proliferation of methods and tools to map and quantifying water yield to make appropriate decisions for managing watersheds (Fisher et al., 2009; Seppelt et al., 2011; Malinga et al., 2015). These vary in complexity from simple approaches based on maps and land use or habitat-based proxies to complex, process-based models (Seppelt et al., 2011).

Soil water are partially absorbed by the plants (Brauman et al., 2007), and the rest joins groundwater by gradually percolating into the deep strata which makes a steady state of stream flow. Vegetation plays a pivotal role in aggregating water yield to ecosystems, owing to maintaining soil structure by producing organic matters and netting soil particles, increasing infiltration rate, and accordingly preserving rainwater (Dominati et al., 2010). Therefore, the purpose of this study is to measure and map amount of water yield in different plant types in order to make appropriate management decisions along with potential of each plant type to determine the amount of water yield.

Methods

Study area: Delichaee watershed is located in Tehran province, Iran (Fig. 1). It is about 340 km2 with a mean elevation of 2750m above sea level. The area has a semi-arid to semi-humid climate, annual mean precipitation is 393 mm and annual average temperature is 6.7 ℃.

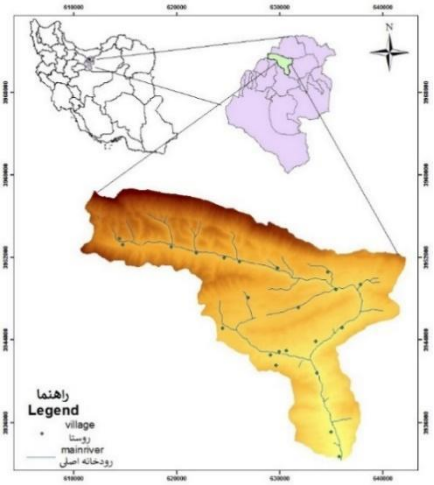


Fig. 1 Overview map of the Delichaee watershed

We use the InVEST model here to determine the amount of water yield in the study area. The InVEST model is a tool for ecosystem service assessment to support environmental decision-making developed in 2007 by Stanford University, the World Wide Fund for Nature and the Nature Conservancy. It comprises many sub-models and the water yield model is a vital component of water-related ecosystem services. The water yield module is a large spatio-temporal scale. This model is based on the Budyko curve (Budyko, 1974) and the annual precipitation. Compared with other hydrological models, the water yield model in InVEST has mapping and spatial analysis functions under ArcGIS. To date, the model has been applied to several sites and decision contexts, such as Boithias et al. (2014), Redhead et al. (2016).

The model estimates the total annual water yield (Y) for each grid square (x) of the study catchment as total catchment annual rainfall (P) minus total catchment annual actual evapotranspiration (AET) (Eq. 1). The model assumes that, on an annual time step, all water falling as rainfall over a catchment, minus that which is evapotranspired, leaves the catchment. No distinction is made between surface and sub-surface water flow.

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right) \cdot P(x) \quad (1)$$

In practice, the measurement of annual actual evapotranspiration at the catchment scale is extremely difficult. Even plot scale evaluation requires highly specialised equipment, and plot and field scale methods to determine actual evapotranspiration are problematic to apply at the landscape scale (Evans et al., 2012). The InVEST approach relates AET to potential evapotranspiration (PET), which is easier to model, using the methodology developed by Budyko (1974) and later adapted by Fu (1981) and Zhang et al. (2004) (Eq. 2) where ω is an empirical parameterwhich defines the shape of the curve relating potential to actual evapotranspiration.

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{PET(x)}{P(x)}\right)^{\omega}\right]^{1/\omega} \quad (2)$$

PET is estimated as the product of the reference evapotranspiration and the crop coefficient for each grid square. ω is related to the plant available water content (AWC), precipitation and the constant Z which captures the local precipitation pattern and additional hydrogeological characteristics (Eq. 3) (Sharp et al., 2015).

$$\omega = Z \frac{AWC(x)}{P(x)} + 1.25 \qquad (3)$$

For a more detailed description of the water yield model see Sánchez-Canales et al. (2012); Bangash et al. (2013); Hamel and Guswa (2015); Pessacg et al. (2015); and Sharp et al. (2015).

Model inputs:

The InVEST model requires five biophysical parameters as geo referenced rasters. These are root restricting layer depth (mm), plant available water content (AWC, as a proportion), average annual precipitation (mm), average annual potential evapotranspiration (PET, mm) and land use/land cover (LULC).We obtained these data froma variety of sources. First of all, based on a digital elevation model (DEM) the watershed and sub-watersheds were generated by using ArcSWAT. The watershed was delineated into 9 sub-watersheds. The annual average data of 10 climatology and rainfall stations were used for generating precipitation and evapotranspiration maps. Soil depth and available water content was based on soil profiles in studying area and a previous study by Azimi et al (2013). LULC were obtained from land use planning maps of studying area (Salman Mahini et al., 2012). a biophysical table is required reflecting the attributes of each LULC, containing LULC code, descriptive name of LULC, the maximum root depth for vegetated land use classes in millimeters and the plant evapotranspiration coefficient for each LULC class. The root depth of main vegetation types was obtained following Schenk and Jackson (2002). We estimated the evapotranspiration coefficient of each LULC type based on Allen et al. (1998) and the InVEST user guide.

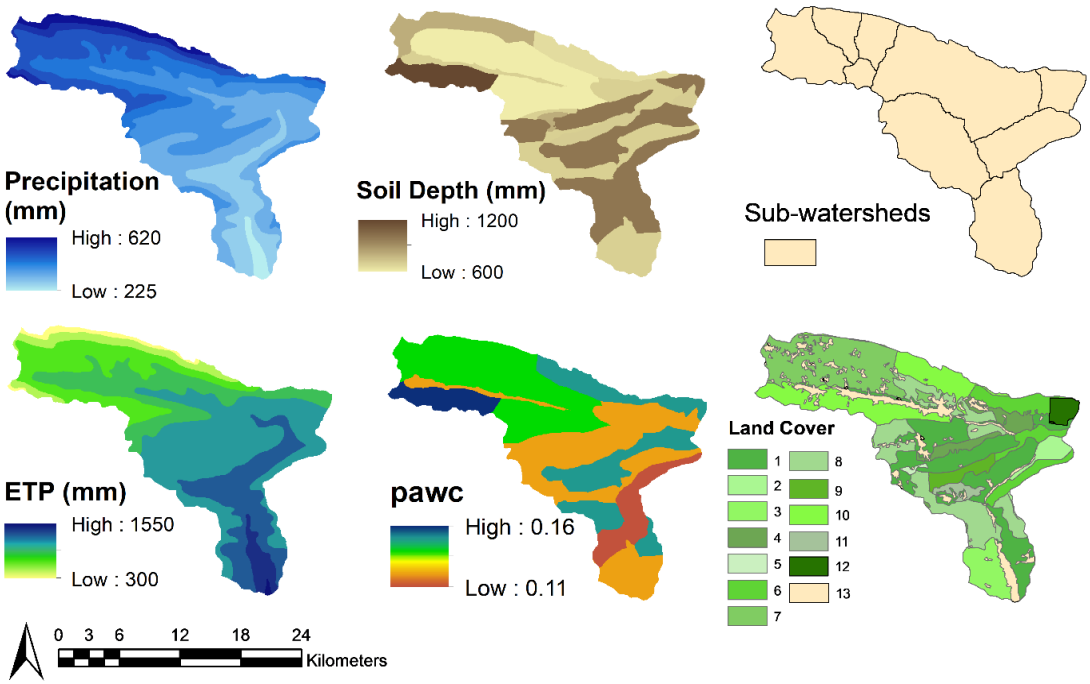


Fig. 2 (a) land use and land cover; (b) average annual precipitation; (c) average annual potential evapotranspiration; (d) soil depth; (e) plant available water content; and (f) watershed and sub-watersheds.

A Zhang constant should be chosen that characterizes the seasonality of precipitation, with possible values ranging from 1 to 10. We determined Z via calibration to stream flow data. In the

area of study, z_coef. value is estimated to be between 3 and 5. In addition, as the Z value increased the water yield declined (Table 1).

Table 1. Z value and water yields

Z	3	3.5	3.85	3.866	3.867	3.9	4
een natural and simulated The difference betw water yield	14.3054	5.5881	0.2281	0.0012	0.0185	0.4938	1.9067

Results

The water yield simulated by InVEST represented natural stream flow in delichaee watershed and in different plant types. The distribution of water yield is shown in Fig. 4. The total annual water yield is about 42 million cubic meters. The maximum amount of water yield in plant types is in *Perennial grasses-Astragalus gossypinus* with 2112.690 cubic meter per hectare and the lowest amount of water yield is 511.287 cubic meter per hectare in *Juniperus* ecological niche. The results of each plant type are presented separately in Table 2.

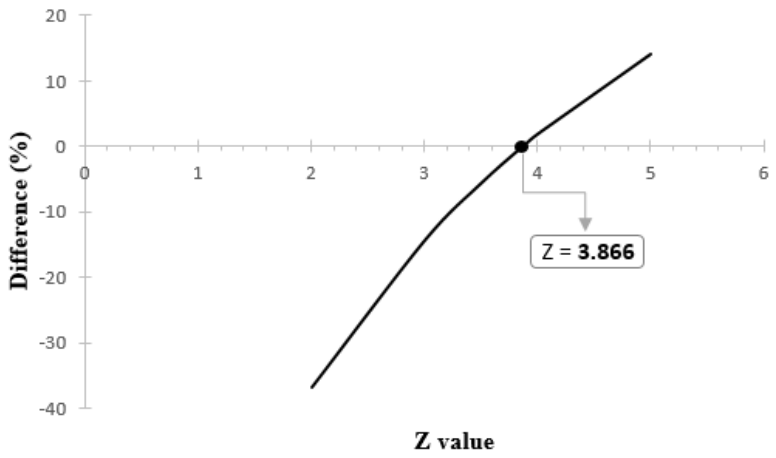


Fig. 3 The difference between annual natural runoff and simulated runoff

piration, average elevation and water yield for each LULCTable 2. Area, Actual evapotrans

Code	Plant Type	Area (ha)	AET (mm)	Elevation	Water yield (m3/ha)
1	*Artemisia.au+Astragalus.go*	7090.79	262.52	2158.36	722.413
2	*Artemisia.au+Stipa.ba*	761.69	271.92	2123.78	465.263
3	*Artemisia.si*	1615.27	228.08	1869.23	595.540
4	*Astragalus.go+Artemisia.au+Hordeum.fr*	1368.37	219.61	2265.66	1290.691
5	*Astragalus.go+Euphorbia.ae+Hulthemia.pe*	104.12	235.75	2150.79	960.472
6	*Astragalus.go+Festuca+Perennial grasses*	2594.66	237.77	2378.94	1293.932
7	*Bromus.pe+Astragalus.go+Thymus.ko+Agropyron.ta*	5365.24	271.83	3088.47	2093.899
8	*Hordeum.fr+ Astragalus.go+Centaurea.vi*	5224.45	275.41	2292.17	800.890
9	*Hordeum.fr+Acantholimon+Astragalus.go*	799.33	287.92	2290.86	545.911
10	*Perennial grasses+Astragalus.go*	4635.41	256.70	2962.98	2112.690
11	*Stachys.in+ Stipa.ba+ Ephedra.in*	430.86	216.74	1964.76	771.761
12	*Juniperus* ecological niche	640.49	339.12	2581.86	511.287

The results revealed that different plant types can potentially influence different amounts of water yield. Perennial grasses -*Astragalus.go* type, amongst, accounted for the highest runoff. In

terms of physiographic features, this type is characterized by the highest elevation and shallow soil that 59% of it is covered with nothing but bare land. On the other hand, grasses have short roots with less power to absorb water. This forms a particular soil structure incapable of percolating enough water that would consequently yield more runoff.

In Artemisia.au-Stipa.ba type the amount of runoff is very low, this type has the highest percentage of canopy compared to other types, which 40% of it consists of shrubs. This canopy improves soil properties and increases organic matter that accordingly percolates more water deep into the ground. on the other hand, On the other hand, *Stipa barbata*, although are of grasses, it has a more developed root system and root cuts, which increases water absorption.

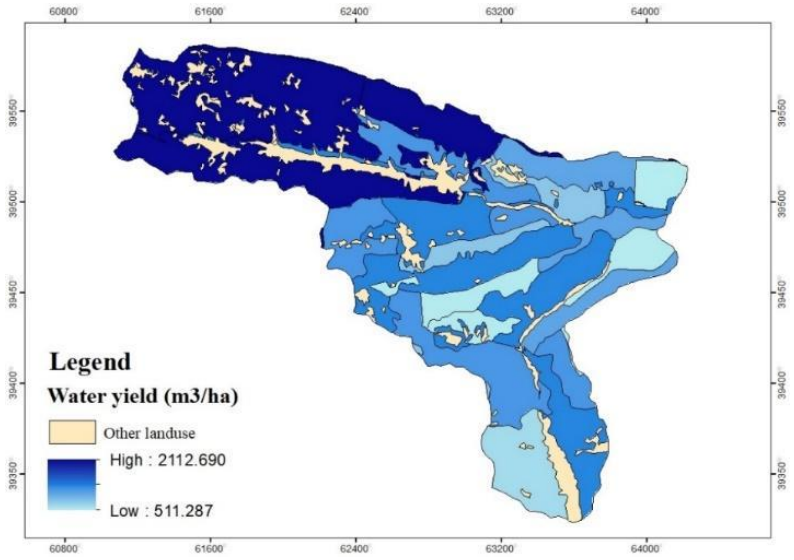


Fig. 4 Water yield volume per hectare per plant type

The lowest amount of runoff is 511.287 cubic meter per hectare in *Juniperus* ecological niche, because *Juniperus* trees absorb more soil moisture due to their broader canopy and deep root system. Moreover, they do not let water infiltrate in aquifers and, in some cases, that is, water is getting out of reach of the ecosystem (Cardella Dammeyer et al., 2016).

The inferences derived from implementing InVEST attest that this model, compared to other relatable models, requires fairly few and available data and has a high capability in mapping ecosystem services. It can also be used in land use planning and the studies regarding vegetation cover change detection. Besides, considering the results obtained before and after the calibration of the model, it is fair to say that using this model without calibration is not recommended. We encourage InVEST users to engage stakeholders in scenario development process and interpretation of model outputs in future works (Sharp et al., 2015).

Conclusions

The results of this study show the difference in water yield among different plant types. Plant types that are shrub-type has broader canopy and deep root system, so absorb more water and grass-types absorb less water. One the other hand, physiographic and climatic factors have a great impact on the amount of water yield, among these factors, elevation and precipitation are the most effective ones.

References

Allen Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J., Cox, P., Dalton, V., Feinsinger, P., Ingram, M., Inouye, D., Jones, C.E., Kennedy, K., Kevan, P. and Koopowitz, H. 1998,The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. Conserv. Biol., 12: 8-17.

Azimi, M., Heshmati, G.A., Farahpour, M., Faramarzi, M. and Abbaspour, K.C., 2013. Modeling the impact of rangeland management on forage production of sagebrush species in arid and semi-arid regions of Iran. Journal of Ecological Modelling, 205:1-14.

Bangash, R.F., Passuello, A., Sanchez-Canales, M., Terrado, M., López, A., Elorza, F.J., Ziv, G., Acuña, V., Schuhmacher, M., 2013. Ecosystem services in Mediterranean river basin: climate change impact on water provisioning and erosion control. Sci. Total Environ. 458, 246–255.

Boithias, L., Acuña, V., Vergonos, L., Ziv, G., Marce, R. and Sabater, S. 2014. Assessment of the water supply: demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. Science of the Total Environment, 470–471: 567–577.

Brisbane Declaration. 2007. The Brisbane Declaration: Environmental flows are essential for freshwater ecosystem health and human well-being. In10th International River Symposium, Brisbane, 3-6.

Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K. E., & Mooney, H. A. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. Annu. Rev. Environ. Resour. 32: 67-98.

Budyko, M.I. 1974. Climate and life. San Diego, California: Academic.

Cardella Dammeyer, H., Schwinning, S., Schwartz, B.F. and Moore, G.W., 2016. Effects of juniper removal and rainfall variation on tree transpiration in a semi-arid karst: evidence of complex water storage dynamics. Hydrological Processes, 30(24):4568-4581.

Dominati, E., Patterson, M. and Mackay, A. 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. Ecological Economics, 69: 1858–1868.

De Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. and Willemen, L., 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological complexity, 7(3): 260-272.

Evans, J., McNeil, D., Finch, J., Murray, T., Harding, R.,Ward, H., Verhoef, A., 2012. Determination of turbulent heat fluxes using a large aperture scintillometer over undulating mixed agricultural terrain. Agric. For. Meteorol. 166, 221–233.

Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological economics, 68(3), 643-653.

Fu, B.P., 1981. On the calculation of the evaporation from land surface (in Chinese). Sci. Atmos. Sin. 5, 23–31.

Hamel, P. and Guswa, A.J., 2015. Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: case study of the Cape Fear basin, North Carolina. Hydrology and Earth System Sciences, 19(2): 839-853.

Malinga, R., Gordon, L.J., Jewitt, G. and Lindborg, R. 2015. Mapping ecosystem services across scales and continents — a review. Ecosyst. Serv., 13: 57–63.

Meijer, K. S., Van der Krogt, W. N. M., and Van Beek, E. 2012. A new approach to incorporating environmental flow requirements in water allocation modeling. Water resources management, 26: 1271-1286.

Pessacg, N., Flaherty, S., Brandizi, L., Solman, S. and Pascual, M., 2015. Getting water right: A case study in water yield modelling based on precipitation data. Science of the Total Environment, 537: 225-234.

Redhead, J. W., Stratford, C., Sharps, K., Jones, L., Ziv, G., Clarke, D. and Bullock, J. M. 2016. Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. Science of the Total Environment, 569: 1418-1426.

Salman mahini, A., Jazi, H., Karimipour, H., Mehri, A., Kamiab, H., Zare Garizi, A. 2012. Capability evaluation and land use planning (Integrated watershed management: Hableroud). 338p (In Persian)

Sánchez-Canales, M., López Benito, A., Passuello, A., Terrado, M., Ziv, G., Acuña, V., Schuhmacher,M., Elorza, F.J., 2012. Sensitivity analysis of ecosystemservice valuation in a Mediterranean watershed. Sci. Total Environ. 440, 140–153.

Schenk, H.J. and Jackson, R.B., 2002. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. Journal of Ecology, 90(3): 480-494.

Seppelt, R., Dormann, C.F., Eppink, F.V., Lautenbach, S. and Schmidt, S., 2011. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. J. Appl. Ecol., 48, 630–636.

Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M., Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., 2015.

Zhang, L., Hickel, K., Dawes,W.R., Chiew, F.H.S.,Western, A.W., Briggs, P.R., 2004. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration.Water Resour. Res. 40, W02502.

Секция 5
На грани науки и практики

Session 5
Engineering and applied hydrology

Моделирование гидрографа стока малых рек Горного Алтая

***Аминова Ю.Д.*, Инишев Н.Г., Земцов В.А.**
Томский государственный университет, Томск
S98435@yandex.ru

Аннотация: Выполнено моделирование гидрографов стока горной реки с суточным разрешением по метеоданным и характеристикам водосбора. Представлены результаты апробации модели для предсказания гидрографа реки Урсул у с. Онгудай с учетом изменения климата с использованием программы TRANS_df, разработанной Н.Г. Инишевым в Томском госуниверситете. Показана возможность применения модели для водосборов не только равнинных, но и горных рек.

Ключевые слова: моделирование стока воды, горные реки, река Урсул, Горный Алтай

Введение

Изменчивый сток горных рек, особенно в условиях изменения климата, определяет потребность в предсказании реакции речного водосбора на эти изменения. Такая задача решается с помощью гидрологических моделей разного типа (Saibert, Vis, 2012; Gayathri K. Devi et al., 2015).

Гидрограф стока горных рек не имеет единой ярко выраженной волны половодья, а характеризуется растянутым весенне-летним половодьем с резкими спадами и подъёмами за счет относительно быстрого стекания с разных высотных зон стаявшего снега и наложением дождевых осадков (например, Алтайский тип водного режима).

Целью работы является оценка возможности использования модели TRANS_df, разработанной в Томском госуниверситете, для моделирования стока небольших горных неледниковых рек. Ранее эта модель использовалась для имитации стока равнинных рек с залесенными и заболоченными водосборами (Inisheva and Inishev, 2001).

В качестве объекта исследования нами выбрана река Урсул. Река берет начало на склонах Теректинсого хребта (Горный Алтай) и является левым притоком реки Катунь. Имеет площадь водосбора в расчетном створе с. Онгудай 3080 км^2, средняя высота водосбора 1600 м, на территории отсутствуют ледники.

Материалы и методы

Программа TRANS_df, разработанная на кафедре гидрологии Томского госуниверситета Н.Г. Инишевым (Инишев, 1981, 2009; Инишева, Инишев, 2000). Пространственная неоднородность условий формирования стока учитывается разделением площади водосбора по ландшафтному признаку. При расчете стока р. Урсул в модели учитывается не только ландшафтная неоднородность, но и высотная поясность в бассейне. Поэтому для каждой выделенной зоны с однородными условиями формирования стока нами рассчитан гидрограф стока за многолетний период с суточным разрешением. Для расчета гидрографа использовано более 30 параметров, часть из которых была определена по имеющимся данным о бассейне, часть – методом оптимизации Розенброка.

Оценка водозапасов снежного покрова может быть выполнена по материалам снегомерных съемок перед началом таяния снега или по сумме осадков за зимний период. Ежедневная водоподача на поверхность водосбора определяется по результатам расчета интенсивности снеготаяния и водоотдачи из снега по методу А.Г. Ковзеля с учетом неравномерности залегания снежного покрова в выделенных зонах. Распределение

запасов воды в снеге в пределах каждой выделенной зоны аппроксимируется кривой гамма-распределения.

Учет осадков в период снеготаяния производится так, если осадки выпадают в твердом виде, то они добавляются к снегу, накопившемуся за зимний период. Дальнейшее таяние снегозапаса продолжится после того, как растает свежевыпавший снег. Осадки, выпадающие в жидком виде, прибавляются непосредственно к склоновому стоку с учетом их потерь.

Ежедневная водоотдача бассейна определялась как разность между избытками воды, поступившей сверх затрат на заполнение его водоудерживающей емкости. Величина водоудерживающей емкости перед началом таяния зависит от увлажнения бассейна предшествующей осенью. В качестве показателя степени заполнения водоудерживающей емкости перед началом таяния снега применяются осенние осадки. Предполагается, что существует процесс аккумуляции воды на склонах, и между этими запасами воды и склоновым стоком существует нелинейная связь.

Склоновый сток q_t с каждой зоны выражаются как степенная функция динамического запаса:

$$qt=\alpha tWtn=\alpha t(Wt\text{-}1+Wt2)n$$

Дальше трансформация склонового стока идет по кривым добегания с каждой зоны отдельно.

Основной входной информацией для программы являются метеорологические данные. Метеорологические данные для модели (температура и осадки) взяты по двум метеостанциям – с. Онгудай, расположенной в нижней части водосбора на высоте 831 м и с. Усть-Кокса на высоте 977 м за период с 1986 по 2003 гг. Расчет гидрографа выполнялся за период положительных температур воздуха (с 1.04 по 7.09). Снегозапас на водосборе рассчитывается, как сумма осадков за зимний период от/до среднесуточной температуры +2 °С. В качестве осеннего увлажнения приняты жидкие осадки за период от 7.09 до среднесуточной температуры +2 °С.

При калибровки модели использованы данные наблюдений за среднесуточными расходами воды, ежедневными суммами осадков и средними суточными температурами воздуха период с 1986 по 2003 гг.

С помощью программы ArcMap была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) водосбора р. Урсул и рассчитан ряд параметров бассейна. Входными данными для построения ЦМР стали топографические карты масштаба 1:200000 и SRTM-матрицы (http://srtm.csi.cgiar.org/).

По построенной цифровой модели бассейн был разделен на 10 высотных зон с интервалом высот 200 м: от 800 – 1000 м до 2600 – 2800 м. Для каждой зоны рассчитана площадь и длины линий стекания. Каждая высотная зона приравнивается к отдельной зоне со своими условиями формирования стока воды.

Дополнительные параметры для модели (градиенты температуры и осадков и запасов воды в снеге) взяты осредненными по высоте и по сезонам (Гляциология Алтая, 1981; Севастьянов, 1998) и отнесены к средней высоте каждой зоны. В программе TRANS_df взяты разные значения градиентов для зон с 1 – 2 и 3 – 10.

Результаты

В результате применения модели мы получили гидрографы стока за теплое время года выбранного многолетнего периода. На рисунке 1 показан рассчитанный и фактический гидрографы по модели TRANS_df. Помимо общего гидрографа, строятся отдельные гидрографы стока со всех выделенных зон, что даёт возможность увидеть индивидуальный вклад каждой зоны в сток в замыкающем створе. Оценка эффективности модели определялась по средней квадратической ошибке $м^3/с$, общей для всего периода и

по отдельным годам. Для расчетного 1987 года критерий качества $K_{КАЧ}$ составляет 3.71 $м^3/с$, или 0.32 от стандартного отклонения среднесуточных расходов воды р. Урсул в створе с. Онгудай за теплый период года, что говорит о том, что модель дает достаточно приемлемый результат.

Также программа строит комплексный график для каждой высотной зоны, что дает возможность проследить зависимость хода гидрографа от таких характеристик, как температура воздуха, слой осадков, площади свежевыпавшего и накопленного снега, слой водоотдачи высотной зоны.

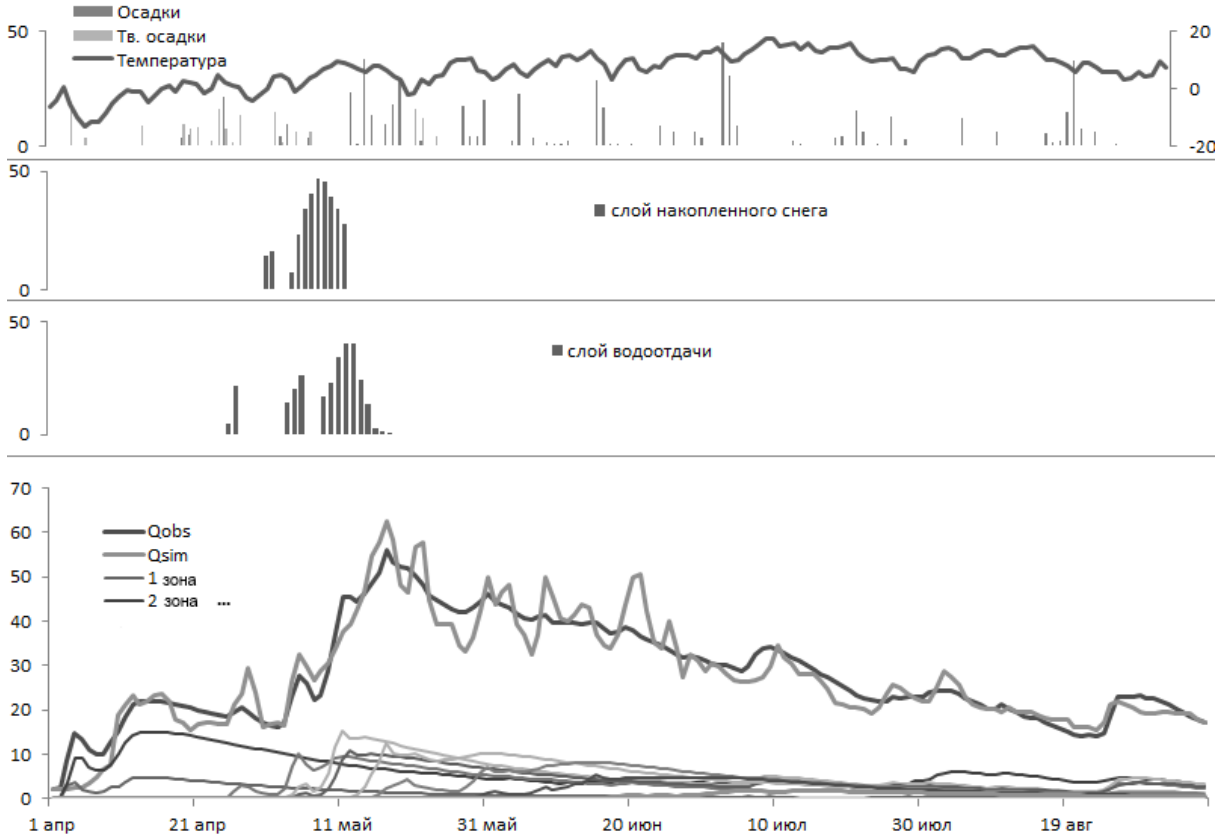


Рис. 1 Фрагмент комплексного графика гидрометеорологических показателей для высотной зоны № 3 бассейна р. Урсул за 1987 год построенного в программе TRANS_df

Заключение

Расчет гидрографа стока в программе TRANS_df дает приемлемый результат. Совпадение рассчитанного и фактического гидрографов оказалось достаточно хорошим. В дальнейшем модель может быть использована для оценки изменения речного стока в условиях современных изменений климата.

Список литературы

Гляциология Алтая / Под ред. В.В. Севастьянова. Вып. 15. – Томск: Изд-во Томск. Ун-та, 1981. – 168 с.

Инишев Н.Г. Применение вероятностной модели времени добегания для расчета гидрографа половодья (на примере реки Чулым) // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 9. – С. 94 – 100.

Инишев Н.Г. Мерзликин О.Ф. Модель расчета гидрографа весеннего половодья на малых реках, стекающих с васюганского болота // Вестник Томского Государственного Педагогического Университета. – 2009. – Вып. 3 (81). – С. 137 – 142.

Инишева Л. И., Инишев Н. Г. Водная миграция химических веществ в системе геохимически сопряженных олиготрофных ландшафтов с притоком поверхностно-болотных вод. В кн.: Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: Материалы Международной научной конференции. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – С. 204 – 208.

Инишева Л.И., Инишев Н.Г. Модель выноса растворенных веществ с заболоченного водосбора // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. - № 2. – С. 9. – 12.

Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. – Томск: Издательсьво Томского госуниверситета, 1998. – 201 с.

Inisheva L.I., Inishev N.G. Elements of water balance and hydrochemical characteristic of ologotrophic bogs in the southern taiga subzone of Western Siberia // Water Resources . – 2001. – V. 28. – No. 4. – P. 371 – 377.

Gayathri K. Devi , Ganasri B.P., Dwarakish G. S. A Review on Hydrological Models // Aquatic Procedia. – 2015. – V. 4. – P. 1001 – 1007.

Seibert J., Vis M. J. P. Teaching hydrological modeling // Hydrology and Earth System Science, 2012. – V. 16. – P. 3315 – 3325.

Modeling flow hydrograph of the Ursul river (Altai Mountains)

Aminova J.D., Inishev N.G., Zemtsov V.A.
Tomsk State University, Tomsk
S98435@yandex.ru

Abstract: Modeling flow hydrographs of a mountain river with daily resolution based on meteorological data and characteristics of catchment area for a long-term period has been performed. The results of approbation of the model, developed by N.G. Inishev at Tomsk State University (program TRANS_df), for prediction of hydrograph of the Ursul River at Ongudai settlement taking into account climate change are presented. The possibility of the model application for not only lowland watersheds but also for mountain rivers is shown.

Keywords: river flow modeling, mountain rivers, the Ursul River, Altai Mountains

Индикационная оценка условий стокоформирования речных систем озера Байкал

Амосова И.Ю.*, *Ильичева Е.А.
ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
irinaamosova_83@mail.ru

Аннотация: Индикационная оценка условий формирования стока основана на исследовании порядкового состава, структуры и удельных характеристик речных систем, качественного и количественного анализа структуры и установление зависимости водоносности речных систем от их параметров. Территория исследования приурочена к наиболее крупным хребтам озера Байкал – Приморский, южная оконечность Байкальского хребта, Улан-Бургасы и Морской хребет. Речные системы рассматриваются как статическая и динамическая модели. Генерализация топографических карт, как правило, соответствует устойчивому среднему многолетнему стоку, вследствие чего на ней отображают постоянно действующую речную сеть меженной фазы водного режима. Статическая модель речной сети построена по топографическим картам масштаба 1:200 000. В период максимального увлажнения при прохождении экстремальной водности, речные системы дополняются водно-эрозионной сетью. Полученная информация о количестве временных элементарных водотоков русловой сети (падей и распадков с эпизодическим стоком) с помощью обработки современных снимков дистанционного зондирования земли, позволяет создавать динамическую модель речных систем, построенную по цифровой модели рельефа (ЦМР). Информационной гидрологической основой являются среднемноголетние и максимальные наблюденные расходы воды в створах стандартной сети наблюдений. Для динамической и статической моделей речных систем рассчитаны морфометрические характеристики их бассейнов, структурно-гидрографические параметры, ранжированные по порядкам и удельные характеристики по длине русловой сети. При этом закономерности строения русловой и речной сети в таких моделях остаются неизменными, а порядок систем, в большинстве случаев, возрастает. Сравнительный анализ порядкового состава речных систем для статической и динамической моделей выявил существенные различия результатов для топографических карт разных масштабов и ЦМР. Структурно-гидрографические исследования территории и применение статической и динамической моделей позволяют произвести расчеты среднего и максимального стока. Определена целесообразность применения некоторых характеристик строения речных систем непосредственно для динамической модели. Индикационные свойства, заложенные в структуре динамической модели речных систем, позволяют оценить условия формирования стока водно-эрозионной сети и выявить азональные факторы. В результате, структурно-гидрографическое исследование строения речных систем позволило использовать построенную по динамической модели гидросеть как индикатор экстремально высокого стока.

Ключевые слова: индикационная оценка, структурная гидрография, речные системы, формирование стока, статическая модель, динамическая модель.

Введение

Структурно-гидрографический анализ речных систем, как индикационный метод, применим для оценки условий формирования стока и расчета среднегодовой и максимальной водоносности (Амосова, 2017; Гидроклиматические…, 2013). Исследования речных систем бассейна оз. Байкал проведены по материалам разномасштабных топографических карт и радарной топографической съемки (SRTM). Условия формирования речных систем Байкальского бассейна многообразны по возрасту

их заложения и мозаичны по физико-географическим особенностям территории исследования. В различные периоды водности необходима оценка объемов притока речных вод в озеро. Приточность оценивается по данным сети Росгидромета. Для Байкала мониторинг за стоком в устьевых частях бассейнов проводится на 29 станциях и постах. Всего по побережью Байкала насчитывается 470 устьев, из них 230 постоянных водотоков, 30 % составляют временные водотоки, около 20 % эпизодические пади и распадки. Таким образом, при экстремальном увлажнении в котловину озера может поступить огромный объем стока, сопровождаемый опасными экзогенными процессами и явлениями (сели, оползни, наводнения). В этой связи требуется оценка объемов максимального или экстремального стока.

Объект и методы исследования

В данном исследовании рассмотрены речные системы, формирующиеся в условиях горного рельефа. Приморский хребет простирается вдоль северо-западного побережья озера (Афанасьев, 1976) и имеет абсолютные отметки до 1500 м. Исследуемые речные системы (РС) Бугульдейки, Голоустной, Анги и Сармы берут начало с Онотской возвышенности, а их долины пересекают Приморский хребет (Ресурсы…, 1973). Юго-восточные склоны этого хребта дают начало рекам Хорга и Кучулга.

Табл. 1 Гидроморфометрические характеристики бассейнов и структурно-гидрографические параметры речных систем исследуемой территории по динамической модели

		Онотская возвышенность, Приморский хребет					Байкальский хребет	Хр. Улан-Бургасы	Морской хребет	
Речная система		Бугульдейка	Голоустная	Анга	Сарма	Кучулга	Курма	Кика	Итанца	Большая Сухая
Площадь водосбора, км^2		1729	2284	1170	770	232	54,9	2028	2647	376
Средняя высота водосбора, м		749	779	766	959	715	1081	851	763	899
Максимальная высота водосбора, м		1254	1164	1640	1729	1643	1502	1763	1725	1715
Уклон водосбора,^{0}		16,7	8,52	12,1	19,5	8,13	11,1	8,6	8,86	13,0
Уклон водной поверхности, ^{0}		8,81	4,19	5,58	10,4	4,24	7,46	3,1	3,84	4,63
Суммарная длина, км		1146	1536	812	493	166	38,3	1412	1805	240
Коффициент эрозионного расчленения, км/км^2		0,66	0,67	0,69	0,64	0,72	0,70	0,70	0,68	0,27
Порядок РС	Хортону-Стралеру	6	5	5	5	4	3	5	5	5
	Шриву	433	593	342	216	63	15	540	651	84
	Шайдеггеру	9,758	10,212	9,418	8,755	6,977	4,907	10,077	10,347	7,392
Суммарная энтропия в устье, бит		290,628	394,361	219,755	145,064	45,45	11,575	359,74	418,0	52,834
Средний многолетний сток, м^3/с		5,38	9,51	2,77	5,35	0,59	0,81	105	8,06	3,89
Максимальный наблюденный сток, м^3/с		111	308	64,2	54,8	Нет данных		168	65	37,3
Рассчитанный экстремально высокий сток, м^3/с		311	920	585	137	14,0	5,0	582	392	88
Коэффициент бифуркации		3,67	5,31	4,37	4,13	4,03	3,88	5,16	5,09	3,38
Гидрологический район (осадки, мм в год)		Хамар-Дабанский (553)						Нижнеселенгинский (505)		

Байкальский хребет является продолжением Приморского, его отметки 1500-2500 м. На юго-восточных склонах этого хребта находятся истоки р. Курма.

Истоки реки Кика и ее речная система расположена в пределах хребта Улан-Бургасы с максимальными отметками до 2000 м.

Морской хребет протягивается с юго-запада на северо-восток от дельты р. Селенги до р. Кика, высота вершин до 1700 м. Северо-восточные склоны дают начало р. Итанца, правобережному притоку низовьев р. Селенги. Северо-восточные склоны спускаются к долине р. Кика, формируя ее левые притоки, здесь же находятся истоки р. Большая Сухая.

Речные системы исследуемой территории рассматривается как статическая модель, а вся водно-эрозионная система как динамическая. Модели созданы на основе графа речной сети, построенного по топографическим картам для устойчивого среднемноголетнего стока (статическая) и цифровой модели рельефа для экстремального увлажнения (динамическая). Динамическая модель речных систем совпадает с реальной сетью, но дополняется количеством водно-эрозионных элементов первого порядка, с учетом ложбин стока, протяженностью свыше 75 м. Определен состав речной сети, морфометрические и структурные характеристики.

Результаты

Статическая модель использовалась для определения локальных зависимостей устойчивого среднего многолетнего стока от структурных мер (Гидроклиматические…, 2013). Структурный модуль является критерием разделения территории на однородные участки, для перехода к расчету экстремально высокого стока, позволяет дифференцировать водосборный бассейн на области стокоформирования. Морфометрические характеристики бассейна и гидрографические характеристики строения речных систем рассчитаны для динамической модели (табл. 1).

Рассмотренные речные системы по площади водосбора относятся к малым и средним рекам (Корытный, 1985). От 55 до 65 % от общей площади занимают водно-эрозионные звенья первого порядка, около 20 % приходится на элементы второго порядка, водотоки более высоких порядков занимают оставшуюся часть водосборного бассейна. По протяженности русловой сети на элементы первого и второго порядков приходится до 78 %, средняя длина их тальвегов составляет 1,1 км (первый порядок) и 2,84 км (второй). Достаточно большие уклоны водосборов (до 15°) водно-эрозионных элементов первого и второго порядков и их расположение на высотах до 1725 м, создает предпосылки для благоприятного формирования стока, что также подтверждается коэффициентом эрозионного расчленения рельефа (до 0,90 км/км^2) и коэффициентом бифуркации (до 6,0). Коэффициент бифуркации, рассчитанный по динамической модели, показал стабильность и может быть использован для индикационной оценки.

Неблагоприятные условия формирования стока имеет сеть элементарных водотоков речных систем Кика и Большая Сухая. Здесь небольшой уклон водосбора (до 10°) и высоты до 1000-1100 м, очень низкий коэффициент эрозионного расчленения (0,26-0,30 км/км^2). Здесь не формируется достаточно развитой водно-эрозионной сети, в большинстве случаев, отмечается перехват стока в водораздельной части хребтов.

На основе закономерностей строения речных систем выделены области формирования, транзита и концентрации стока (ФС, ТС и КС). Область ФС представляет собой часть водосбора, где происходит интенсивное наращивание порядка по длине водотока, до момента образования наивысшего порядка речной системы (Гарцман, 2008). Область ТС характеризуется уже хорошо выраженной главной рекой, притоки низких порядков отличаются большей протяженностью. Место впадения последнего притока младшего порядка соответствует нижней границе области ТС. Область КС расположена в нижней части водосбора между устьем водотока и границей ТС. Здесь не образуется притоков высоких порядков, соответственно не формируется большого объема местного стока.

Уникальность строения каждой речной системы в количественном отношении можно выразить через структурно-информационные (энтропийные) характеристики разнообразия и распределения элементов в системе, их взаимосвязь. (Казанский, 1976). Именно взаимосвязь позволяет использовать эти характеристики в качестве индикатора характера гидрологических процессов. Закономерности строения речных систем в виде локальных зависимостей устойчивого стока и рассчитанных структурных мер по динамической модели (табл. 1) выступают индикаторами экстремально высокого стока. Прогнозная оценка экстремально высокого стока, который может вместить тело русловой сети, значительно превышает наблюденные значения, и обеспеченность таких величин составляет не более 0,01 %.

Выводы

Бассейн озера Байкал в целом представляет собой горную страну. Исследования строения водно-эрозионной сети речных систем, приуроченных к горным хребтам, по динамической модели дали хорошие результаты применимости цифровой модели земли, построенной по снимкам SRTM. Сравнительном анализ строения русловой сети динамической и статической модели подтвердил неизменность закономерностей в ее строении, а в ряде случаев показал целесообразность применимости некоторых структурных характеристик конкретно для динамической модели и дает возможность детально исследовать водно-эрозионную сеть речных систем с выявлением областей стокоформирования.

Работа выполнена в рамках программы НИР Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН (№ 0347-2016-0003) при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 17-29-05052-офи_м

Список литературы

Амосова И. Ю., Ильичесва Е.А. Структурно-гидрографический анализ речных систем озера Байкал // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. – 2017 - № 4. – С. 16-23

Афанасьев А.Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна озера Байкал. – Новосибирск: Издательство «Наука» Сиб. отд-ние, 1976. – 238 с.

Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска / Тихоокеанский ин-т географии ДВО РАН. – Владивосток: Дальнаука, 2008. - 223 с.

Гидроклиматические исследования Байкальской природной территории / Под. ред. Л. М. Корытного. – Новосибирск: ГЕО, 2013. - 186 с.

Казанский Б. А. Количественная характеристика структуры речных систем //Тр. ДВНИГМИ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – Вып. 66 – С. 22-52.

Корытный Л.М. Классификация речных систем Сибири по их величине // География и природные ресурсы. – 1985. - № 4. – С. 32-36.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16, вып. 3. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 400 с.

Indicative estimation of the conditions for the formation of flow of Baikal river systems

Amosova I.Y.*, *Ilicheva E.A.
[1]*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia*
irinaamosova_83@mail.ru

Abstract: The indicative estimate of conditions formations of runoff is based on the study of the order, structure and specific characteristics of river systems, the qualitative and quantitative analysis of the structure, and the establishment of the dependence of the long-time average discharge from river systems on their parameters. The study area is confined to the largest ridges of Lake Baikal - Primorsky, the southern tip of the Baikal Range, Ulan-Bourgasy and the Morskoy Ridge. River systems are considered as static and dynamic model. The generalization of topographic maps, as a rule, corresponds to a stability long-time average discharge, as a result of which a constantly operating river network of the low-water of the water regime. The static model of the river systems is built on topographic maps of the scale 1: 200 000. In the period of maximum moisture during the passage of extreme flow, river systems are supplemented by a water-erosion network. The obtained information on the number of temporary elementary water course of the channel network (folds and disintegrations with episodical runoff) by processing modern images of remote sensing of the earth allows creating a dynamic model of river systems built on a digital relief model (DEM). The information hydrological basis is the average annual and maximum observed water discharge in the sections of the standard observation network. For the dynamic and static models of river systems, the morphometric characteristics of their basins, the structural and hydrographic parameters ranked in order and the specific characteristics along the length of the channel network are calculated. In this case, the regularities in the structure of the channel and river network in such models remain unchanged, and the order of the systems, in most cases, increases. A comparative analysis of the river systems order for static and dynamic models has revealed significant differences in results for topographic maps of different scales and DEM. Structural and hydrographic studies of the territory and the application of static and dynamic models make it possible to calculate the mean and maximum runoff. The expediency of applying some characteristics of the structure of river systems directly for the dynamic model is determined. The indicative properties incorporated in the structure of the dynamic model of river systems allow one to assess the conditions for the formation runoff of the water and erosion network and to reveal the azonal factors. The structural and hydrographic analys of the river systems made it possible to use the hydroset as an indicator of an extremely high flow in the dynamic model.

Keywords: estimate indication, structural hydrography, river systems, formations runoff, static model, dynamic model

Ландшафтно-картографическое обеспечение гидрологических математических моделей формирования стока

***Барышников С.Г.*, Ботвенко Е.О., Ротанова И.Н.**
Алтайский государственный университет
sbaryshnikov18@gmail.com

Аннотация: Решение многих задач в гидрологии связано с использованием карты от этапа сбора исходной информации до представления результатов исследований. Разработка геоинформационной технологии использования тематической картографической информации, в частности, ландшафтных карт в гидрологическом математическом моделировании, ведется в Алтайском государственном университете совместно с Институтом водных и экологических проблем СО РАН. В настоящее время объектом исследования является пойма Верхней Оби. Верхняя Обь имеет важное водно-ресурсное и водохозяйственное значение. Пойменные ландшафты относятся динамичным природным комплексам, характеризуются изменением водного стока и периодическим затоплением.

Построена геоинформационно-картографическая модель ландшафтов поймы Верхней Оби для выполнения ландшафтно-гидрологического анализа и гидрологического математического моделирования. Геоинформационно-картографическая модель соответствует требованиям, предъявляемым для применения в гидрологических математических моделях. Используемая ландшафтная карта создана в конце 1980-х годов в масштабе 1:100 000.

Оцифровано более 1000 ландшафтов градации групп урочищ. Ландшафты дифференцированы на низкие, средние и высокие поймы и классифицированы по характеру рельефа: сегментно-гривистые, плоские пониженные, плоские, линейно-гривистые, волнистые. Выполнен геоинформационный анализ пойменных ландшафтов Верхней Оби. На основе ЦМР для поймы Верхней Оби построены карты углов наклона и экспозиции склонов, что позволяет получить необходимые морфометрические данные. Выполнен анализ динамики ландшафтов за 20 лет на основе сравнения с данными современной космической съемки.

Разработана объектно-ориентированная атрибутивная база данных ландшафтов. База данных содержит характеристики почво-грунтов и растительности ландшафтов поймы, сведения для расчета коэффициента шероховатости, эвапотранспирации, динамических характеристик и пр.

Ключевые слова: Обь, Верхняя Обь, пойма, геоинформационно-картографическое моделирование, цифровая модель рельефа, ландшафт, ГИС.

Введение

Актуальность исследований в области применения картографических данных в задачах моделирования, судя по публикациям в научной литературе и проведению научно-практических мероприятий, посвященных вопросам использования ГИС в гидрологическом математическом моделировании (ГММ), постоянно возрастает.

Река Обь имеет важное водно-ресурсное и водохозяйственное значение, являясь одной из основных водных артерий в Сибири, России и даже в мире. Особую роль играет Верхняя Обь – часть Оби от истока до впадения реки Томь, водосборный бассейн которой интенсивно освоен и подвергается значительной антропогенной нагрузке, характеризуется повышенной динамикой гидрологических процессов. Актуальными являются

исследования поймы Верхней Оби с применением геоинформационных технологий и ГММ.

Материалы и методы

Картографическая ГИС-информация представляет собой специальный тип представления данных в ГММ. Используется как информация с топографических карт: геодезическая и географическая основа, границы, местоположение отдельных объектов, так и тематическая информация (почвы, рельеф, растительность, ландшафты) (Верещака и др., 2015). Формирование поверхностного стока с водосборной территории описывается на основе анализа природных комплексов водосборов, используя бассейново-ландшафтный подход (Антипов и Федоров, 2000). Ландшафтная карта представляет собой синтетическое отображение природных комплексов, в то же время отражают комплексную характеристику каждого из них (Михеев, 2001). При преобразовании материалов ландшафтной карты в ГИС-информацию создается слой полигонального представления информации с развернутой базой данной, отражающей качественные, полуколичественные и количественные характеристики. Чем детальнее уровень ландшафтной карты, тем больше атрибутивной информации содержится в базе данных (Ротанова и Шибких, 2002; Шибких, 2003а, 2003б).

Кроме ландшафтной карты при гидрологическом моделировании используется информация, полученная с почвенной, геоморфологической, климатической карт, данных гидрометеослужбы и непосредственных гидрологических измерений. Использование специальных карт, содержащих информацию о различных природных характеристиках водосборного бассейна, позволяет расширить возможности решения гидрологических задач, основанных на моделировании (Ротанова и др, 2004а, 2004б). Практически это раскрывается при использовании пространственных данных и их обобщении в виде параметров пространственных распределений или в виде средних значений таких характеристик, как осадки, запасы влаги в почвах, эвапотранспирация. Карты техногенной (антропогенной) нагрузки или карты использования земель также служат источниками информации для ГММ.

Учитывая, что гидрологическая математическая модель предполагает размещение тематической информации в узлах регулярной расчетной сетки, выполнено преобразование картографической информации в параметры гидрологической модели, т.е. перевод тематических данных из слоев карты в узлы сетки. В результате упорядочения информации по узлам сетки сформирован образ гидротопа – полигона, содержащего однородные данные, используемые при гидрологическом моделировании (Ротанова и др., 2003; Ротанова и Шибких, 2002).

В качестве модельной территории для ГММ рассмотрена пойма Верхней Оби в пределах Алтайского края. В качестве основы для привязки и использования в модели пространственной информации принята топографическая карта масштаба 1:100 000. Ландшафтная карта также выполнена в данном масштабе. Геометрическая точность топографической и используемой тематической карты удовлетворяет требованиям пространственной привязки информации, используемой в ГММ. Практическая реализация алгоритма преобразования исходной картографической информации с использованием ГИС-технологий позволяет использовать результаты в качестве параметров разрабатываемой гидрологической модели.

Обсуждение результатов

Построена геоинформационно-картографическая модель ландшафтной структуры поймы Верхней Оби (рис.). Источником послужила оцифрованная ландшафтная карта, составленная в ИВЭП СО РАН «Ландшафты поймы Верхней Оби», масштаб 1:100 000 (Цимбалей Ю.М. и др., рукописная, архив ИВЭП СО РАН).

На основе использования информации топографической карты проведено построение цифровой модели рельефа (ЦМР) исследуемой территории. Применение ЦМР дает

возможность проанализировать направления поверхностного стока и распределение характеристик увлажненности с учетом высоты местности, экспозиции склонов и др. (Шибких, 2002; Шибких, 2003а).

Для проведения геоинформационного анализа построены карта рельефа, карта типов пойм, карта углов наклона, карта экспозиций склонов, создана база атрибутивных тематических данных. База данных содержит характеристики рельефа, почво-грунтов и растительности ландшафтов поймы, сведения для расчета коэффициента шероховатости, эвапотранспирации, динамических характеристик и пр. (Агафонова и Кошелев, 1991; Пеньковская, 1963; Сметанин, 1963).

Выполнен геоинформационный ландшафтный анализ поймы Верхней Оби. Задача дифференциации геосистем речной долины сводится к выделению комплексов, различных по морфологии и параметрам составляющих компонентов (Хромых, 2008; Хромых и Хромых, 2011). Такими комплексами в пределах долины Верхней Оби являются геосистемы ранга местностей, групп урочищ и типов сложных урочищ. Группы урочищ дифференцируются на низкие, средние и высокие поймы. Типы сложных урочищ представлены сегментно-гривистыми, плоскими пониженными, линейно-гривистыми, волнистыми и плоскими. Вычислены площади ландшафтов (урочищ, групп урочищ) и процентное соотношение в типах поймы Верхней Оби.

При дифференциации урочищ наряду с особенностями мезорельефа большое значение придавалось различиям в характере растительного и почвенного покровов. Построенная крупномасштабная гкоинформационная ландшафтная карта содержит 1002 таксона–гидротопа, разбитых на группы урочищ: низкие, средние и высокие поймы, классифицированные по характеру рельефа: сегментно-гривистые, плоские пониженные, плоские, линейно-гривистые, волнистые.

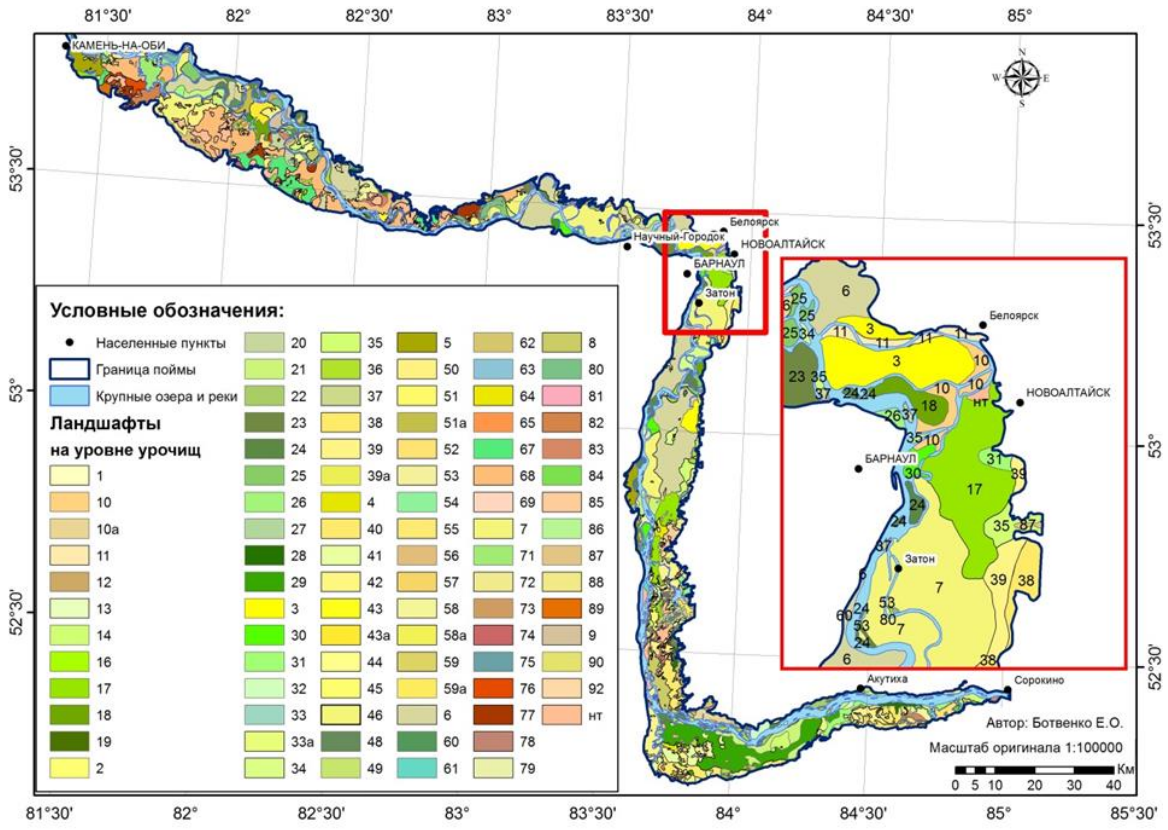


Рис. 1. Геоинформационно-картографическая модель ландшафтной структуры поймы Верхней Оби

Морфометрический анализ поймы показал, что 80% поймы составляют субгоризонтальные участки со склонами 0–2°. Для участков со склонами 15–35° территория крайне мала (менее 5%). Такое деление имеет генетический смысл, дает возможность судить о характере и интенсивности процессов, происходящих в пойме, о возможном ее использовании в хозяйственной деятельности.

Выводы

Выполненные исследования раскрывают возможности геоинформационного картографического обеспечения ГММ, они апробированы на одном из модельных объектов Обского водосборного бассейна – пойменной части Верхней Оби, территории, часто подвергающейся изменению водного стока и затоплению, опасному для крупных населенных пунктов. Построена базовая геоинформационно-картографическая модель пойменных ландшафтов Верхней Оби, включающая цифровую ландшафтную карту; разработана объектно-ориентированная атрибутивная база данных ландшафтной карты. Выполненный геоинформационный анализ ландшафтов поймы Верхней Оби содержит элементы нового знания, результаты востребованы для научных исследований, связанных с моделированием гидрологических процессов, и практической водно-ресурсной и водохозяйственной деятельностью.

Список литературы

Агафонова Н.И., Кошелев В.И. Особенности структуры почвенно-растительного покрова поймы Верхней Оби и его ландшафтная индикация // Географические проблемы Алтайского края. Барнаул, 1991: 3–7.

Антипов А.Н., Федоров В.Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории // Новосибирск. Наука. 2000.

Верещака Т.В., Андреева З.В., Качаев Г.А. Картографическая оценка экологического состояния суши и акваторий: теория, методы, практика // Москва: Научный мир. 2015.

Михеев В.С. Ландшафтный синтез географических знаний // Новосибирск. Наука. 2001.

Пеньковская Е.Ф. Растительность поймы Оби // Растительность лесостепной и степной зон Западной Сибири. Новосибирск. 1963: 211–261.

Ротанова И.Н., Михайлов С.А., Шибких А.А. Бассейново–ландшафтный подход при геоинформационном картографировании и гидрологическом моделировании // Интеркарто 9: ГИС для устойчивого развития территорий: материалы международной конференции Новороссийск–Севастополь, 2003: 124–127.

Ротанова И.Н., Михайлов С.А., Шибких А.А. Формализация картографической информации для ГИС и гидрологического моделирования: проблемы и подходы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. № 3. 2004а: 157–163.

Ротанова И.Н., Шибких А.А. Алгоритм преобразования исходной картографической ГИС-информации в параметры гидрологической модели // Интеркарто 8: ГИС для устойчивого развития территорий: материалы международной конференции. СПб: ЗАО "Карта", 2002: 107–109.

Ротанова И.Н., Шибких А.А., Ведухина В.Г. Геоинформационное обеспечение регионального водно-экологического картографирования на примере рек и водоемов бассейна Верхней Оби // ИнтерКарто/ИнтерГИС 10. Устойчивое развитие территорий: геоинформационное обеспечение и практический опыт: материалы международной конференции. Владивосток–Чань-Чунь, 2004б: 210–213.

Сметанин И.С. Почвы поймы р. Оби // Труды Томского гос. ун-та. Томск: Изд-во ТГУ, Т. 152. 1963: 226–239.

Хромых В.С. Функционирование и динамика пойменных ландшафтов. Томск: ТГУ, 2008.

Хромых О.В., Хромых В.В. Ландшафтный анализ Нижнего Притомья на основе ГИС: естественная динамика долинных геосистем и их изменения в результате антропогенного воздействия. Томск: Изд-во НТЛ, 2011.

Шибких А.А. Ландшафтное картографирование Алтайского края с применением ГИС-технологий для решения экологических задач // Интеркарто 8: ГИС для устойчивого развития территорий: материалы международной конференции. СПб: ЗАО "Карта", 2002: 205–207.

Шибких А.А. Алгоритм преобразования ландшафтной информации для целей математического моделирования // География: новые методы и перспективы развития: материалы XV конференции молодых ученых Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2003а:173–175.

Шибких А.А. Подходы к автоматизированному использованию информации ландшафтных карт в экологических исследованиях // Интеркарто 9: ГИС для устойчивого развития территорий: материалы международной конференции. Новороссийск–Севастополь, 2003б: 430–432.

Landscape-cartographic support of hydrological mathematical models of the water flow formation

Baryshnikov S.G., Botvenko E.O., Rotanova I.N.
Altai State University
rotanova07@inbox.ru

Abstract: The solution to many problems in hydrology associated with the card from the stage of initial information gathering to presentation of research results. Development of geographic information technology the use of thematic cartographic information, in particular landscape maps in hydrological mathematical modeling, conducted in the Altai state university jointly with the Institute for water and environmental problems SB RAS. Currently the object of research is the flood plain of the Upper Ob. The Upper Ob river is an important water resource and water supply value. Floodplain landscapes are dynamic natural systems, characterized by changing water flow and periodic flooding. Created geoinformation mapping model of floodplain landscapes of the Upper Ob to perform a landscape-hydrological analysis and hydrological mathematical modelling. Geoinformation mapping model meets the requirements for use of hydrological mathematical models. Used landscape map created at the end of 1980-ies in scale 1:100 000. Digitized over 1,000 landscapes gradation of groups of tracts. The landscape is differentiated into low, medium and high floodplain and classified according to the nature of the relief: segment-maned, flat low, flat, linear-maned, wavy. Performed GIS analysis of floodplain landscapes of the Upper Ob. Based on the DEM for the floodplain of the Upper Ob the maps of angles of slope and exposure of slopes, which allows to obtain the necessary morphometric data. The analysis of landscape dynamics for 20 years, based on the comparison with the data of modern satellite imagery.Developed object-oriented attribute database landscapes. The database contains characteristics of the soils and vegetation of floodplain landscapes, information for calculation of the coefficient of roughness, evapotranspiration, dynamic characteristics, etc.

Keywords: Ob, the Upper Ob, floodplain, geoinformation and cartographic modelling, digital elevation model, landscape, GIS

Гидравлические сопротивления речных русел

Барышников Н.Б., Дрегваль М.С.
Российский Государственный Гидрометеорологический Университет
mariadregval@gmail.com

Аннотация: Выполнен анализ современного состояния проблемы расчетов гидравлических сопротивлений. Установлено три направления их расчетов. Наиболее перспективным из них является направление, основанное на принципе саморегулирования. Однако оно требует значительных усилий для разработки. В настоящее время лучшие результаты получаются при расчетах, основанных на формулах Шези, Маннинга и других, но и они требуют совершенствования, в частности, учета значительного воздействия глубин и формы сечения речных русел.

Ключевые слова: гидравлические сопротивления, гидравлика потока, шероховатость, саморегулирование.

Проблеме гидравлических сопротивлений более 200 лет, но несмотря на интенсивные исследования, она еще далека до завершения. Это обусловлено сложностью процессов в речных руслах и зависимостью гидравлических сопротивлений от большого количества факторов, таких как шероховатость русел, форма перемещения наносов, извилистость и зарастаемость и других интенсивно изменяющихся и взаимодействующих между собой факторов.

Для упрощения задачи при расчете сопротивлений движению русловых потоков было сделано допущение о их квазистационарном движении. Это позволило существенно облегчить разработку расчетной методики, возможностью использования аппарата равномерного движения, в частности формулы Шези и коэффициентов Шези для характеристики гидравлических сопротивлений. Важным моментом стало введение в расчетные методики коэффициента шероховатости, позволяющего по описательной характеристике сопротивлений расчетного участка и соответствующим таблицам определять его величины. Несмотря на существенные недостатки (субъективизм определения, переменная размерность и др.) его использование в расчетных методиках позволило получить результаты, в какой-то степени, удовлетворяющие запросы практики.

Следует отметить, что введение в расчетные методики этого параметра привело к интенсивной разработке как многочисленных таблиц для его определения, так и еще большего количества формул для расчетов коэффициентов Шези вида C=f(h, n,I). Число таблиц в настоящее время свыше 30, но наиболее часто используемые в России- таблицы И.Ф. Карасева (Карасев, 1980) и М.Ф. Срибного, а за рубежом-таблицы В.Т.Чоу и Дж.Бредли. Для уменьшения влияния субъективизма при определении значений коэффициентов шероховатости таблица Чоу сопровождается альбомом цветных фотографий расчетных участков.

Еще более значительным является количество формул для расчетов коэффициентов Шези вида C=f(h,n,I). Так по данным П.Ф.Горбачева (Горбачев, 1939), уже в 1932г их количество составляло более 200 и существенно увеличивалось в последующие годы.

Для оценки их эффективности были отобраны таблицы И.Ф. Карасева, В.Т. Чоу и Дж. Бредли и на их основе и формул Маннинга вида $C=h^{1/6}/n$ и Павловского $C=h^{y}/n$ по натурным данным по 502 рекам бывшего СССР в РГГМУ были проведены контрольные расчеты (Барышников, 2007, 2012) и установлено, что средние погрешности расчетов незначительно изменяясь для разных таблиц составляют 32-35%. Максимальные погрешности существенно выше и превышают 100%.

В чем же причины такой низкой эффективности расчетов? По нашему мнению, они в недостаточном учете влияния глубин речных русел, которые изменяются в широких пределах, и большом количестве допущений при разработке расчетной методики.

Действительно, только в малоизвестной таблице Л.Л. Лиштвана учитывается влияние изменения глубин на гидравлические сопротивления.

Исследования по этой проблеме, выполненные в РГГМУ (Барышников 2002, 2007), позволили установить, что при изменении глубин коэффициенты Шези и шероховатости также могут изменяться в несколько раз.

На основе анализа зависимостей вида $\frac{C}{\overline{C}} = f\left(\frac{h}{\overline{h}}\right)$ и $\frac{n}{\overline{n}} = f\left(\frac{h}{\overline{h}}\right)$ было выделено пять их типов.

Первый тип характеризуется увеличением значений коэффициентов шероховатости и соответственно уменьшением значений коэффициентов Шези при увеличении глубин. Второй тип, наоборот характеризуется уменьшением коэффициентов шероховатости при увеличении глубин. Третий и четвертый типы промежуточные. Увеличение коэффициента шероховатости при увеличении глубин сменяется их уменьшением. При четвертом типе наоборот, их уменьшение сменяется увеличением. Пятый тип характеризуется относительным постоянством этих величин при изменении глубин.

Причиной этого на малых и средних реках являются степень зарастания берегов растительностью или их засоренность на горных реках, а также расположение русловых образований относительно расчетного створа (Барышников 2002, 2007).

Более сложным является расчет гидравлических сопротивлений на реках с поймами, что обусловлено необходимостью перехода от равномерного движения к неравномерному. Более того, к движению с переменным по длине расходом воды. Это приводит к необходимости использования вместо формулы Шези уравнения движения потока с переменным расходом воды вида:

$$I = \frac{v^2}{C^2 h} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\alpha_К v^2}{2g}\right) + \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\alpha_Б v}{g}\right) + \frac{q' v'}{gF'}, \quad (1)$$

где I-уклон водной поверхности, $\alpha_К$ и $\alpha_Б$- коэффициенты Кориолиса и Буссинеска; q' и v' удельные расходы воды и средние скорости массообмена между русловым и пойменным потоками, F'-площадь, на которой происходит массообмен. Обозначив через ε_1,ε_2 и ε_3 члены уравнения в его правой части, начиная со второго, получим

$$v = C\sqrt{hI\left(1 - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{I}\right)} \quad (2)$$

Данная формула отличается от формулы Шези только многочленом, заключенным в скобки. Прежде чем применять эту формулу для расчетов, необходимо оценить веса ее членов (ε_1,ε_2 и ε_3). Эта оценка впервые была выполнена Д.Е. Скородумовым (Скородумов, 1965) по данным специальных натурных измерений. В частности, им установлено что на реках Луге у пос. Толмачево и Пьяне-д.Камкино, максимальные значения членов уравнения (1), учитывающие неравномерность движения (ε_1,) равны 59,5% и массообмен между русловым и пойменным потоками ε_3, равны 20%. В тоже время ε_2, учитывающий влияние нестационарности мал и составляет величину менее 5%. Поэтому они могут быть рекомендованы для расчетов средних скоростей русловых составляющих потоков при воздействии на них пойменных потоков.

Воздействие руслового потока на скоростное поле пойменного приводит к значительному увеличению скоростей последнего, существенно превышающих его скорости в условиях изоляции от руслового. На участке шириной в 1.5-2.0 ширины руслового потока, при значительной шероховатости поймы, до 5.0-6.0 ширин русла при гладкой пойме.

Зависимости $v_р/v_{р.б}=f(\frac{h_р}{h_{р.б}}, \propto \frac{h_р}{h_{р.б}}, \propto)$, $I_р/I_{р.б}=f(h_р/h_{р.б},\alpha)$, приведенные на рисунке, достаточно четкие и надежные, к тому же основанные на натурных данных.

Каковы же дальнейшие пути решения данной проблемы? Таких путей несколько, но основными из них являются:

-использование в методике уравнения движения потока с переменным по длине расходом воды. Это потребует перехода к одновременным измерениям расходов воды на двух близко расположенным друг к другу створам;

-совершенствование таблиц для определения коэффициентов шероховатости, посредством учета в них глубин и других параметров, характеризующих эффект взаимодействия потоков.

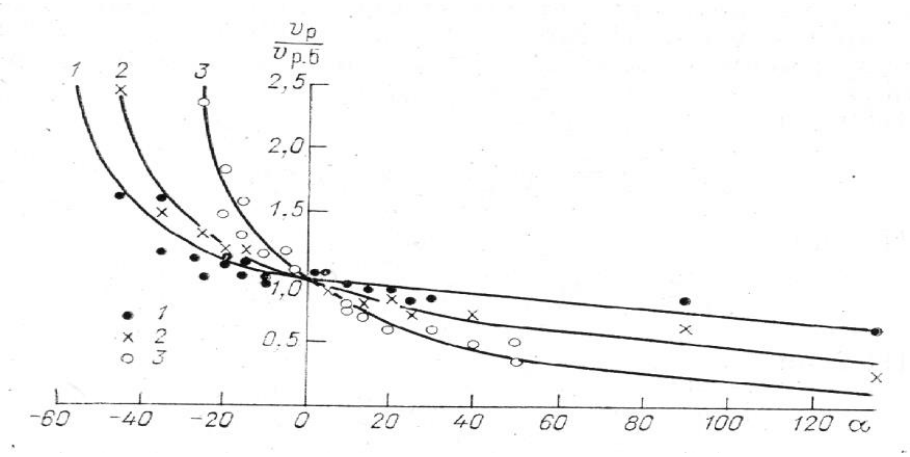


Рис.1. Кривые $v_p/ v_{p.б}$ - $f(h_p/ h_{p.б}, \alpha)$. 1- $h_p/ h_{p.б}$ = 1,10; 2- $h_p/ h_{p.б}$ = 1,25; 3 - $h_p/ h_{p.б}$ = 1,50.

В заключении следует отметить необходимость продолжения исследований по данной проблеме, используя для этого не только аналитические разработки, но и результаты натурных и лабораторных измерений.

Список литературы:

Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления речных русел – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2003

Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007

Барышников Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2012.

Горбачев П.Ф. Гидравлические таблицы М-Л., 1939, Госстройиздат

Карасев И. Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. — Л .: Гидрометеоиздат, 1980.В

Скородумов Д .Е . Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды - Тр. ГГИ, 1965, вып. 128

Hydraulic resistance of fluvial channels

Baryshnikov N.B., Dregval M.S.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

mariadregval@gmail.com

Abstract: The analysis of modern state of the problem of the Flow resistance calculations is performed. Three lines of these calculations are fixed. One of them, based on the self-regulation principle is the most perspective. However it needs substantial efforts for its elaboration. Today the best results are receiving at the accounts based on the Chezy, Manning et al. formulas, but they need to take into account of river depth and shape of the cross section.

Keywords: hydraulic resistance, stream hydraulics, roughness, self-regulation.

Разработка долгосрочных гидрологических прогнозов характеристик весеннего половодья на основе современной гидрометеорологической информации и методов её обработки

***Беляев Б.М.*[1], Варенцова Н.А.[2]**
[1]*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва*
[2]*Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение «Центральное Управление по гидрометерологии и мониторингу окружающей среды», Москва*
belbor1@gmail.com

Аннотация: Водные объекты, в особенности реки, с давних времен играют важную социально-экономическую роль в жизни человека. Водный режим рек может оказывать непосредственное влияние на экономику и население. Для рек с восточноевропейским типом водного режима (по классификации Б.Д. Зайкова) катастрофические ситуации могут возникать в период половодья. Несмотря на неизменно высокую потребность в качественной и полной информации о характеристиках весеннего стока официально используемые методики гидрологического прогноза, как правило, основываются на устаревших данных и требуют обновления.

В работе, на примере разработанных авторами методик долгосрочного гидрологического прогноза весеннего половодья, рассматриваются особенности, эффективность, возможности и перспективы статистического подхода и ансамблевого моделирования в современных вопросах гидрологического прогнозирования. В основе – статистическая методика прогноза максимальных уровней воды малых рек бассейна Верхней Волги (реки Соть, Обнора, Согожа) и методика ансамблевого долгосрочного прогноза характеристик весеннего половодья на р. Северная Двина в районе г. Великий Устюг.

Целью данной работы является оценка возможностей аппарата долгосрочных гидрологических прогнозов весеннего половодья при использовании различающихся по своей сущности методов, примененных к водотокам разного масштаба.

Актуальность работы связана с необходимостью совершенствования методик долгосрочных гидрологических прогнозов характеристик весеннего половодья с учетом современных условий формирования стока и информационных возможностей.

В работе использованы реки территориально близких речных бассейнов: Северной Двины (Сухона, Юг, Северная Двина) и Верхней Волги (Соть, Обнора, Согожа). Изучены особенности применения разных прогностических подходов, проведена оценка эффективности методик долгосрочных прогнозов.

Ключевые слова: речной сток, гидрологические прогнозы, гидрологическое моделирование, водные ресурсы

Введение

Половодье представляет собой многофакторное явление, определяемое целым комплексом взаимосвязанных во времени природных процессов: поступлением воды на поверхность бассейна за счет таяния снега и осадков, процессов поглощения, задержания и потерь воды, стекания её избытков в русловую сеть (Руководство…, 1989; Георгиевский, Шаночкин, 2007). В наибольшей степени формирование весеннего половодья обусловлено климатическими факторами и их пространственной и временной изменчивостью.

Современные особенности весеннего половодья изучены в настоящей работе для северной части бассейна Верхней Волги и верховьев Северной Двины.

В настоящей работе применен статистический и ансамблевый методы прогноза. Статистический метод основывается на поиске регрессионных зависимостей по определенному набору предикторов. В силу невозможности определения на перспективу всех элементов водного баланса этот метод получил наибольшее распространение. Сейчас большинство официально используемых методик Росгидромета основываются именно на статистическом подходе.

Ансамблевые методы связаны с моделированием и в общем представлении имеют физико-статистическую природу. Они позволяют обеспечить прогноз различных квантилей исследуемой величины. Пример эффективного использования ансамблевого подхода для решения водохозяйственных задач представлен в (Морейдо, 2015). Ансамблевый прогноз может выпускаться в детерминистической и вероятностной формах. Согласно (Кучмент, Гельфан, 2009) ансамблевые прогнозы представляют совокупность предсказаний, сделанных на один и тот же момент времени с помощью разных методик или с помощью одной и той же методики, но при отличающихся входных данных, что дает возможность в тот или иной мере учесть неопределенность прогноза.

Неотъемлемой характеристикой гидрологического прогноза является оценка его качества и эффективности. Общепринятые способы оценки эффективности детерминистических гидрологических прогнозов представлены в (Аполлов и др., 1974). Оценка качества ансамблевого прогноза различается в зависимости от формы представления результатов. Если необходимо провести оценку прогноза в вероятностной форме применяют иные подходы, наиболее подробно описанные в (Морейдо, 2015).

Материалы и методы

Разработка методики долгосрочного прогноза максимальных уровней воды малых рек бассейна Верхней Волги включала формирование на основе гидрологических и метеорологических данных корреляционных матриц размером 56х56. Они характеризовали связь различных гидрометеорологических величин следующих информационных блоков: речной сток, запас воды в снежном покрове, температура и осадки холодного периода года, дружность весны, осадки за период снеготаяния. Максимальный уровень воды во время весеннего половодья рек Соть, Обнора, Согожа рассчитывался по уравнению множественной регрессии. Предикторы в уравнении выбраны на основе анализа корреляционных матриц и множественного коэффициента корреляции разных наборов исследуемых величин по отношению к предиктанту. Значение коэффициентов и свободного члена в уравнениях определялось в программе Statistica. Исследована оправдываемость прогноза в многоводные и маловодные половодья.

Создание методики ансамблевого прогноза включало адаптацию разработанной ранее модели формирования стока р. Северная Двина (с замыкающим створом с. Усть-Пинега (Антохина, 2012)) на основе пространственно-распределенной модели гидрологического цикла и формирования стока ECOMAG для оценки стока р. Северная Двина в створе г. Великий Устюг.

Выполнена калибровка и верификация модели по ряду 1969-1984 и 1985-2014 гг. соответственно. Для калибровки выбраны ближайшие к г. Великий Устюг гидрологические посты. Основным являлся створ р. Сухона – д. Каликино. Получены удовлетворительные результаты калибровки.

Сформирован ансамбль метеорологических величин (среднесуточной температуры воздуха, суточной суммы осадков, дефицита влажности воздуха) за период 1966-2012 гг. Он накладывался на смоделированные к дате выпуска прогноза начальные условия водосбора для получения равновероятных гидрографов весеннего стока. С помощью аппарата математической статистики проводился анализ распределения характеристик половодья.

Ансамблевый метод применен для прогноза характеристик весеннего половодья в 1993 и 2012 гг. в створе р. Сухона – д. Каликино. Эти годы выбраны ввиду их многоводности и отсутствия заторов льда на реках в начале весны, что позволило сконцентрироваться исключительно на особенностях формирования весеннего стока (максимальный расход, объем, продолжительность подъема, продолжительность половодья, дата начала). Исследована возможность уточнения ансамблевого прогноза.

Результаты

Результат разработки методики долгосрочного прогноза максимальных уровней воды для рек Соть, Обнора, Согожа представлен уравнениями (1-3). Проверка эффективности осуществлялась на зависимом и независимом материале (методом выбрасываемой точки). Уравнение регрессии для р. Соть имеет вид:

$$Hmax=199,1+1,27S+2,56Qnov+0,88Xraw, \quad (1)$$

где H_{max} – прогнозируемый максимальный уровень воды; S – запас воды в снежном покрове в поле на 28 февраля по м/с Данилов; Q_{nov} – средний месячный расход воды за ноябрь; X_{raw} – сумма жидких осадков холодного периода (за период 1 ноября – 28 февраля) по данным м/с Буй.

В связи с особенностями динамики объема годового стока р. Обнора уравнение, полученное на ряде данных в 1985-2014 гг., показало себя неэффективным при проверке. Поэтому для создания регрессионной зависимости выбраны данные 1999-2014 гг.:

$$Hmax=127,8+1,82S+5,73Qnov+0,56Xsnw, \quad (2)$$

где H_{max} – прогнозируемый максимальный уровень воды; S – запас воды в снежном покрове в поле по м/с Буй на 10 марта; Q_{nov} – средний месячный расход воды за ноябрь; X_{snw} – сумма твердых осадков холодного периода.

Для р. Согожа получено следующее уравнение:

$$Hmax=279,8+0,11S1+0,97S2+7,57Qnov, \quad (3)$$

где H_{max} – максимальный уровень воды в половодье; S_1 – запас воды в снежном покрове по м/с Данилов на 28 февраля; S_2 – запас воды в снежном покрове по м/с Пошехонье на 28 февраля; Q_{nov} – средний месячный расход воды за ноябрь.

Прогноз максимальных уровней в половодье 2016 г. оправдался для рек Согожа и Обнора. Для р. Соть разница между фактическим уровнем и нижней границей прогнозного интервала составила 13 см. Расчетные прогнозные интервалы составили 336-442 см, 383-537 см, 392-498 см для рек Согожа, Обнора, Соть соответственно. Фактические максимальные уровни воды для этих рек в 2016 г. имели значения 389, 460, 445 см соответственно. Превышение допустимых погрешностей прогноза наблюдается в годы низкой и высокой обеспеченностей максимальных уровней воды.

Предпринята попытка введения поправок в результаты прогноза для повышения его эффективности в подобном случае. Однако отсутствие заблаговременной информации о характере половодья усложняет этот прием.

Свойство малых рек, заключающееся во влиянии на сток локальных географических особенностей их бассейнов, может существенно сказываться на точности методики прогноза. Проверка эффективности методики по критериям качества для исследуемых рек показала удовлетворительные результаты на зависимом материале и неудовлетворительные на независимом. Важно отметить, что во втором случае оправдываемость методики превышала 50%, а при уточнении прогноза проверка по методу выбрасываемой точки дала существенно более высокий результат, соответствующий удовлетворительному качеству.

Результаты разработки методики ансамблевого прогноза представлены построенными, с помощью модели формирования стока ECOMAG, ансамблями равновероятных гидрографов. На их основе определен широкий спектр гидрологической информации. По

каждой характеристике половодья получены вероятностные распределения и осредненное по ансамблю значение (табл.1).

Достаточно строго можно определить весь диапазон возможных значений характеристик половодья (обеспеченностью 1-98%) и наиболее вероятный (обеспеченностью 25-75%). При этом обеспеченность фактического значения максимального расхода воды в 1993 г. составила около 9%. Конечная форма представления результатов вероятностного прогноза зависит от нужд потребителей. Уточнение прогноза дает возможность повысить его точность.

Табл. 1 Вероятностный прогноз на 1993 г. в створе р. Сухона – д. Каликино

Характеристики половодья	Обеспеченность, %				Фактическое значение	Среднее значение по ансамблю	Относительная ошибка, %
	1	25	75	98			
Максимальный расход, м³/с	5750	4110	3240	2600	4720	3729	21
Объем, км³	11,1	8,9	7,4	6,0	7,8	8,2	5
Продолжительность, сут	100	75	58	44	61	67	10
Продолжительность подъема, сут	47	29	19	11	30	25	18
Дата начала	10.май	20.апр	11.апр	06.апр	10.апр	14.апр	-

Выводы

По итогам работы получены методики долгосрочного прогноза весеннего половодья, основанные на статистическом и ансамблевом подходах и отвечающие современным условиям формирования весеннего стока. Изучены особенности применения разных методов. Уточнение прогноза при статистическом подходе является менее надежным, т.к. требует заблаговременного представления о характере развития половодья.

Существующий опыт гидрологического прогнозирования позволяет разработать в достаточной мере эффективные методики прогноза весеннего половодья для задач различных категорий. Выбор метода зависит от рассматриваемой проблемы. Например, моделирование гидрологического цикла на малых водосборах нецелесообразно, а расчет водного баланса ограничен имеющейся информацией. Таким образом, наиболее подходящий метод прогноза для малых рек – статистический. Ансамблевые расчеты дают более точный прогноз, позволяют получить представление о ходе половодья. Их применение оправдывает себя при наличии высоких социально-экономических рисков ошибки прогноза.

Следует отметить, что методика долгосрочного прогноза максимальных уровней воды малых рек бассейна Верхней Волги в настоящее время проходит апробацию в оперативной практике Центрального УГМС.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-35-00498-мол-а).

Список литературы

Антохина Е.Н. Водный режим рек европейской территории России и его изучение на основе модели формирования стока. Дисс. на соискание степени канд. геогр. наук, М.: 2012.

Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 422 с.

Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. 436 с.

Кучмент Л.С., Гельфан А.Н. Исследование эффективности ансамблевых долгосрочных прогнозов весеннего половодья, основанных на физико–математических моделях формирования речного стока // Метеорология и гидрология, № 2. 2009: 54-67.

Морейдо В.М. Разработка методов ансамблевого прогноза характеристик сезонного речного стока (на примере притока воды в Чебоксарское водохранилище). Дисс. на соискание степени канд. геогр. наук, М.: 2015.

Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 1: Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 358 с.

Development of long-term hydrological spring high-water period forecasts based on modern hydrometeorological information and methods of its processing

***Belyaev B.M.*[1], Varentsova N.A.[2]**

[1]*Moscow State University, Moscow*

[2]*Federal State Budgetary Institution «Central Administration for hydrometeorology and environmental monitoring», Moscow*

belbor1@gmail.com

Abstract: Water objects, especially rivers, have played an important socio-economic role in human life for a long time. The water regime of rivers can have a direct impact on the economy and the population. For rivers with an Eastern European type of water regime (according to the classification of Zaikov B.D.) catastrophic situations can arise during flood periods. Despite the consistently high demand for quality and complete information on the characteristics of spring runoff, the officially used hydrological forecasting methods are usually based on outdated data and require updating.

The paper considers the features, efficiency, possibilities and prospects of the statistical approach and ensemble modeling in modern issues of hydrological forecasting. The basis is the statistical methodology for forecasting the maximum water levels of small rivers in the Upper Volga basin (Sot, Obnora, and Sogozha rivers) and the ensemble long-term forecast for the characteristics of the spring floods on Northern Dvina river near the city of Veliky Ustyug.

The purpose of this paper is to assess the capabilities of the apparatus for long-term hydrological forecasts of spring floods using methods that differ in their essence and applied to rivers of different scales.

In the study the rivers of territorially close basins were used: Northern Dvina (Sukhona, Ug, Northern Dvina) and Upper Volga (Sot, Obnora, Sogozha). The peculiarities of using different prognostic approaches have been studied, and the efficiency of long-term forecasting techniques has been evaluated.

Keywords: river flow, hydrological forecasting, hydrological modeling, water resources

Применение региональных методов к расчету гидрологических характеристик малых рек

Возняк А.А.
ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь
AAVoznyak@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрена возможность расчета гидрологических и гидрохимических характеристик по рекомендуемым, общепринятым руководящим нормативным документам для малых рек. Рассматривается также вопрос о корректности распространения результатов, полученных по средним и большим рекам, на малые реки. Необходимость привлечения средних и больших рек территории в качестве рек-аналогов или для построения региональных зависимостей обусловлена отсутствием постов гидрометеорологической сети наблюдений на малых реках. Показано, что региональные методы расчета гидрологических характеристик, рекомендуемые СП 33-101-2003 и СНиП 2.01.14-83 для расчета гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений, не могут быть применены для расчета характеристик стока малых рек, поскольку малые реки не подчиняются общей территориальной зависимости редукции модуля по площади водосбора. Рассмотрены вопросы расчета внутригодового распределения стока малых рек. Все нормативные документы при отсутствии данных гидрометрических наблюдений требуют расчетное внутригодовое распределение стока определять по данным рек-аналогов, по районным схемам и по региональным зависимостям. Но районные схемы и зависимости также построены по данным наблюдений на средних и больших реках. Проведенные исследования показали, что внутригодовое распределение стока на малых реках существенно отличается от внутригодового распределения на средних и больших реках. Рассматриваются вопросы определения гидрохимических характеристик малых рек, а также вопросы корректности распространения требований соответствия качества воды рыбохозяйственным ПДК на чрезвычайно малые реки урбанизированных территорий. Невозможно признать корректными фоновые концентрации загрязняющих веществ в реке, в истоке которой или на водосборе (поверхностном или подземном) расположены шламохранилища, терриконы и отстойники. Затронут вопрос об условиях и причинах, при которых необходимо изменение статуса водного объекта. Если русло реки отгорожено от своего водосбора, если расход воды в русле в десятки раз превышает естественный сток из-за сброса сточных вод, вполне правомерно поднимать вопрос о смене статуса такого водного объекта, ибо рекой по определению он уже не является.

Ключевые слова: малые реки, региональные методы расчета гидрологических характеристик, внутригодовое распределения стока, изменение статуса водного объекта.

Введение

Для очень многих задач: инженерных расчетов ГТС, оценки влияния хозяйственной деятельности или разработки нормативов допустимого воздействия на водный объект – необходимо определение характеристик гидрологического и гидрохимического режима водных объектов. Достаточно часто такими водными объектами выступают малые реки.

Малые реки в РФ в большинстве случаев не изучены. По ним часто нет данных даже в «Гидрологической изученности», и, тем более, в «Гидрологических ежегодниках».

Материалы

В статье рассматривается территория, расположенная на правом берегу р. Камы между бассейном р. Вишеры и бассейном р. Яйвы. Согласно «Гидрологической изученности» (1966) здесь протекает 17 рек длиной более 10 км, впадающих в р. Каму с левого берега, из них три с длиной 53-57 км, две – 28 и 41 км, остальные – от 10 до 21 км. Площади водосбора трех самых «больших» составляют 350-550 км^2. Согласно ГОСТ 19179-73 и ГОСТ 17.1.1.02-77 к малым отнесены реки с площадью водосбора менее 2000 км^2, поэтому реки рассматриваемой территории занимают нижнюю четверть всего диапазона малых рек, то есть относятся к очень малым. Кроме того на данной территории находятся по меньшей мере 7 рек с длиной менее 10 км, самостоятельно впадающих в Камское водохранилище (т.е. не являющиеся притоками упомянутых 17 рек) и требующих гидрологических и гидрохимических расчетов, хотя в «Гидрологическую изученность» они не внесены. При этом чрезвычайно важно, что все 24 реки испытывают громадную антропогенную нагрузку, так как все расположены на территории Соликамско-Березниковского промышленного узла, одного из крупнейших не только в Пермском крае, но и в Камском бассейне. Для них каждые 3-5 лет необходимо оценивать воздействие предприятий на реки, рассчитывать НДС, то есть необходимо знать расходы воды в этих водных объектах и фоновые гидрохимические характеристики в них.

Методы

Ни на одной из 24 рек нет ни гидрологических, ни гидрохимических постов сети Росгидромета. Согласно нормативным документам, таким как СП 33-101-2003 и СНиП 2.01.14-83, для расчета гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений предлагается несколько региональных методов расчета: гидрологической аналогии, осреднения в однородном районе, построения карт изолиний, построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов. Во всех случаях определение расчетных гидрологических характеристик основывается на данных гидрометеорологических наблюдений на гидрологических постах близлежащей территории.

Для выполнения данной задачи предстояло решить ряд проблем. Во-первых, существенно расширить «ближайшую» территорию: на севере включить весь бассейн р. Вишеры, на юге – бассейн р. Яйвы и бассейн р. Косьвы, расположенный южнее р. Яйвы. Во-вторых, наименьшие площади водосборов, которые замыкают посты с рядами наблюдений более 15 лет, имеют размеры около 3000 км^2, что в 6 раз больше площадей водосборов наших «самых крупных» малых рек. Но наиболее важно то, что эти посты, замыкающие водосборы-аналоги, располагаются не в нижнем течении (так они характеризовали бы сток почти малых рек), а в верховьях средних и крупных рек, являясь их первыми створами с совершенно иными условиями формирования стока, поскольку эти реки стекают с Уральских гор.

Затем были проведены расчеты и построения фундаментальных региональных зависимостей: редукции модуля стока по площади, зависимость модуля стока от высоты водосбора и др. При этом были собраны максимально все имеющиеся данные наблюдений по малым рекам, чаще всего принадлежащие проектным институтам, а не сети Росгидромета. Длина рядов наблюдений составляла от полугода до 2 лет. И три поста имели ряды длиной 5, 7 и 10 лет. Естественно, средние за период наблюдений годовые значения приводились тем или иным способом к среднемноголетним.

Результаты

На рисунке 1 приведены кривые редукции модуля стока по площади для 4 районов бассейна Верхней Камы, которые свидетельствуют о том, что малые реки, которые действительно являются малыми реками, а не верхними участками средних и больших рек,

не подчиняются общей территориальной зависимости редукции модуля стока по площади водосбора. Наоборот, на малых реках модуль стока возрастает с увеличением площади водосбора из-за увеличения степени дренирования руслом рек подземных горизонтов. При этом необходимо отметить, что верхние участки средних и больших рек, по крайней мере, в рассматриваемом регионе, достаточно четко соответствуют установленным редукционным зависимостям модуля стока по площади. Из полученного результата вытекает вопрос о корректности распространения результатов, полученных по средним и большим рекам, на малые реки, даже находящиеся в том же бассейне, и, тем более, в других бассейнах.

Проблемы возникают и при расчете внутригодового распределения стока малых рек. Все нормативные документы при отсутствии данных гидрометрических наблюдений требуют расчетное внутригодовое распределение стока определять по данным рек-аналогов, по районным схемам и по региональным зависимостям. Но реки-аналоги и реки, по которым строят районные схемы и зависимости, также относятся к средним и большим. В таблице 1 приведено внутригодовое распределение некоторых малых рек и рек-аналогов, ближайших к рассматриваемым малым, но имеющим достаточный ряд наблюдений.

Данные табл. 1 показывают, что внутригодовое распределение стока на малых реках существенно отличается от внутригодового распределения на средних и больших реках. Так, сток в зимнюю межень на одних малых реках существенно выше в % от годового стока, чем сток на средних реках, а на других – существенно ниже. Весеннее половодье на малых реках на рассматриваемой территории в большинстве случаев проходит в апреле-мае, тогда как на средних реках – в мае-июне.

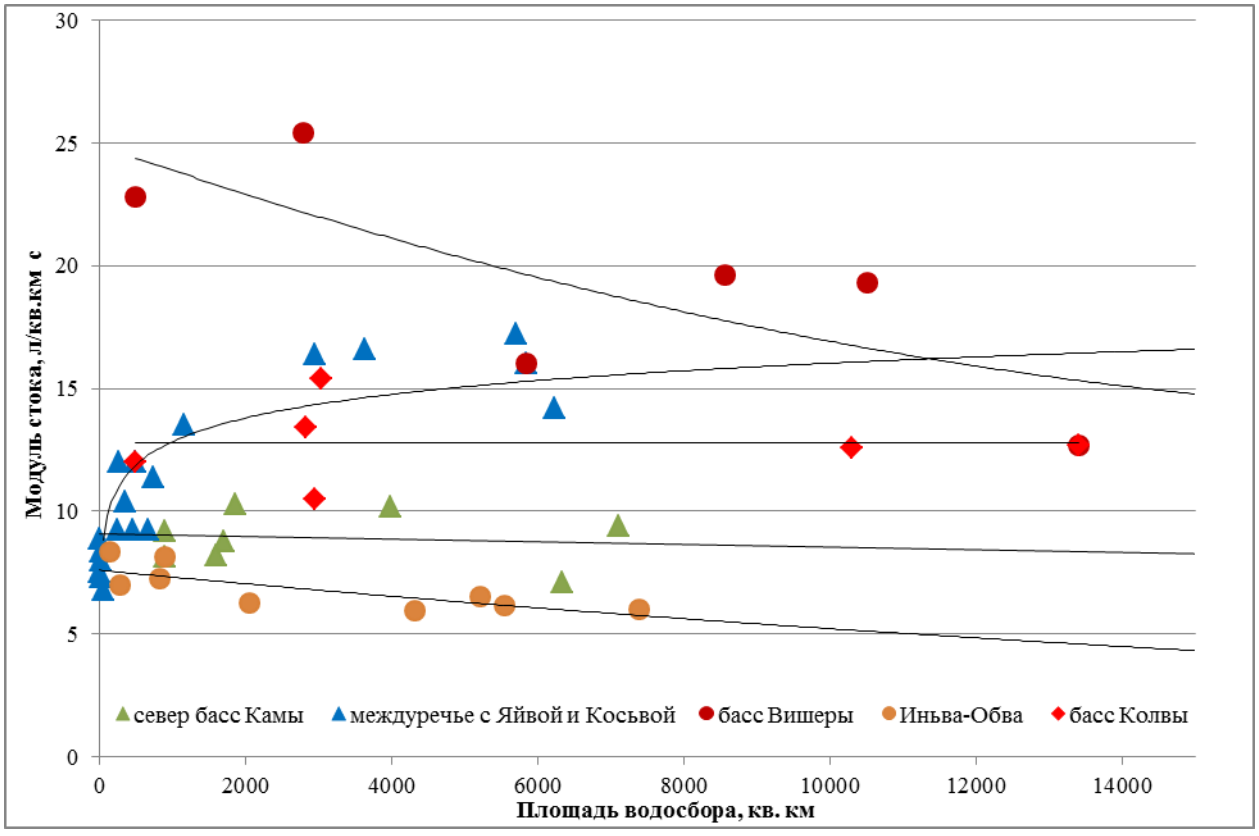


Рис. 1 Кривые редукции модуля стока по площади водосбора для 4 районов бассейна Верхней Камы

Табл. 1 Внутригодовое распределение стока для малых и средних рек бассейна Верхней Камы

Река	F, км^2	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1949													
Толыч	27	5,3	3,8	5,8	23,8	10,9	9,4	10,4	4,8	5,1	7,1	6,8	6,8
Зырянка	363	3,5	3,0	3,0	14,6	34,0	13,6	7,1	4,6	4,2	5,0	4,1	3,3
Яйва	5060	1,8	1,8	2,0	6,2	55,6	7,8	3,5	2,9	2,0	8,8	5,6	1,9
Язьва	5840	2,0	1,8	1,5	4,8	56,1	10,6	3,4	3,0	2,5	5,7	5,8	2,8
1965													
Быгель	16,4	1,7	2,1	1,8	9,6	27,3	20,2	11,6	8,1	6,1	6,1	2,7	2,8
Быгель	28,7	1,2	2,7	0,2	9,1	27,3	21,4	10,5	5,6	7,4	4,9	6,7	3,0
Язьва	5840	1,0	0,8	0,8	2,0	40,6	28,7	3,9	3,6	3,6	5,9	6,8	2,2
Яйва	3630	1,5	1,1	1,1	3,0	47,5	16,6	3,0	6,5	4,5	7,8	5,4	2,0
Колчим	113	1,3	1,2	1,0	21,3	33,3	8,2	2,7	3,7	4,3	11,2	10,5	1,4
Вишера	10500	2,0	1,7	1,6	1,8	31,9	21,3	5,6	8,7	5,8	9,2	7,5	3,0
Полазна	59,2	1,0	0,7	0,6	35,4	37,0	13,3	2,7	1,9	2,0	2,3	1,7	1,3
Обва	4310	2,1	1,6	1,6	12,0	49,6	17,7	4,3	2,3	2,1	2,4	2,4	2,0

Не совсем адекватные и затруднительные ситуации возникают с малыми реками при разработке НДС или при оценке техногенного загрязнения. Согласно Постановлению Совмина СССР №1045 от 15 сентября 1958 г. «О воспроизводстве и об охране рыбных запасов во внутренних водоёмах СССР» все водные объекты без каких-либо ограничений и исключений рассматриваются как рыбохозяйственные, в том числе и малые реки.

Так есть река Черная на территории г. Соликамска, чрезвычайно малая, длиной 5 км, но имевшая и пруд, и сток в период обеих меженей. В последние 30-40 лет она стала принимать сточные воды предприятий, увеличившие ее расход в нижней трети в 10 раз. При этом выше сбросов, в средней трети своей длины р. Черная практически исчезла (пересохла), потому что верхнюю треть реки со всем ее водосбором и прудом отрезала дорога государственного значения.

Есть река Ленва, на которой в истоке расположено шламохранилище крупного предприятия. В верхней части ее русла вода появляется только в период весеннего половодья.

Есть протока между двумя изгибами р. Камы, которая давно потеряла связь как с р. Камой, так и со своим водосбором (закована в бетон и служит каналом транспортировки сточных вод), однако по документам Росгидромета и ГосНИОРХа является рекой и рыбохозяйственным объектом.

Есть речка Волим (и таких много на рассматриваемой территории), в которую официально не осуществляются сбросы сточных вод, но ее химический сток в разы отличается от соседних, но не попадающих под воздействие, рек района. Аномальное ли это явление, обусловленное тем, что река протекает по каким-либо особенно растворимым породам, или это все-таки фильтрационные разгрузки самых различных прудов-отстойников, которыми богат окружающий ландшафт?

В этой связи всплывают проблемы не только по применению рыбохозяйственных ПДК к малым рекам, но и проблемы разработки критериев отнесения водных объектов к рекам или к каналам, и, соответственно, необходимость смены статуса водного объекта. Особенно это актуально для малых рек урбанизированных территорий. Многие из них лишены своих водосборных площадей, многие – служат каналами транспортировки сточных вод предприятий в более крупные водные объекты, и требовать для них

соответствия содержания химических веществ рыбохозяйственным ПДК, по меньшей мере, не корректно. Если ручей протекает по территории города, то лимитировать загрязнение нужно, скорее всего, по санитарно-гигиеническим требованиям. Но малые реки городских территорий – особая тема, и здесь она не рассматривается.

Выводы

Таким образом, список проблем по малым рекам охватывает самые различные области гидрологии: и гидроэкологию, и методы инженерно-проектных расчетов, и ландшафтную географию, и общую гидрологию, когда речь идет о правомерности применения статуса реки к рассматриваемому объекту. И пока эти проблемы не решены, инженеры-проектировщики рассчитывают гидрологические характеристики малых водотоков по Правилам расчетов для канализационных сетей или, изобретая собственные методы, которые не всегда принимаются при согласовании. Промышленные предприятия продолжают накапливать сточные воды в отстойниках, утверждая, что фильтрация из них отсутствует, а то, что водопроводная вода повсеместно перестала относиться к разряду питьевой, так это … изменение климата. На изменение климата ссылаются руководители предприятий при пересыхании множества малых рек, на водосборах которых вырублены леса, и при заболачивании водосборов малых рек из-за этой же и ряда других причин: перекрытия возможности склонового стока строительством дамб дорог и подъемом уровня подземных вод из-за создания водохранилищ, прудов-отстойников, шламохранилищ.

Пришло время уделить внимание малым рекам. Именно из них при слиянии образуются средние и большие. Все проблемы больших рек всегда начинались с малого.

Список литературы

Гидрологическая изученность. Средний Урал и Приуралье. Том 11. Вып.1. Кама. Л.: Гидрометеоиздат, 1966: 326 с.

Application of regional methods to the calculation of hydrological characteristics of small rivers

Wozniak A.A.
Russian Research Institute for integrated water management and protection, Kamsky branch, Perm
Perm State National Research University, Perm
AAVoznyak@gmail.com

Abstract: The possibility of calculating hydrological and hydrochemical characteristics according to the recommended, generally accepted regulatory normative documents for small rivers is considered in the article. The question of the correctness of the distribution of the results obtained from observational data on medium and large rivers to small rivers is also considered. The need to attract medium and large rivers of the territory as a river-analogue or to build regional dependencies is caused by the absence of hydrometeorological observation posts on small rivers. It is shown that regional methods for calculating hydrological characteristics recommended by SP 33-101-2003 and SNiP 2.01.14-83 for calculating hydrological characteristics in the absence of observational data can not be applied to the calculation of runoff characteristics of small rivers, since small rivers do not obey the general territorial dependence of reduction of the module with an increase in the catchment area.The problems of calculating the intra-annual distribution of small rivers runoff are considered. All normative documents in the absence of hydrometric observations require a calculated intra-annual runoff distribution to be determined from the data of the analogues, regional schemes and regional dependencies. But the regional schemes and dependencies are also constructed from observations on medium and large rivers. The conducted studies showed that the intra-annual distribution of runoff on small rivers differs significantly from the intra-annual distribution in medium and large rivers.

The problems of determining the hydrochemical characteristics of small rivers are considered, as well as the issues of the correctness of the spread of the requirements of the compliance of water quality to the fishery MPC on extremely small rivers of urbanized territories. It is impossible to recognize the background concentrations of pollutants in the river, in the source of which or on the catchment area (surface or underground) there are tailings piles, slagheaps and brine ponds.

The issue of the conditions and reasons for changing the status of a water body is touched upon. If the riverbed is fenced off from its catchment area, if the water flow in the riverbed is tens of times higher than the natural runoff due to discharge of sewage, it is legitimate to raise the issue of changing the status of such a water body, because by definition it is no longer a river.

Keywords: small rivers, regional methods for calculating hydrological characteristics, intra-annual distribution of runoff, changing the status of a water object.

Определение отметок порогов слива на неизученных озерах

Давыденко Е.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
davydenko91@mail.ru

Аннотация: При установлении отметки порогов сливов на неизученном озере предлагается использовать режимную информацию об изученных озёрах-аналогах на территории, однородной по генезису озёрных котловин и по факторам стокообразования на озёрных водосборах.

Ключевые слова: Озеро, объём, уровень, зарегулированность, порог слива, динамический объём.

Данные об отметках порогов сливов проточных озер используются при определении отметок уровней неизученных проточных озёр при максимальном наполнении. А также при установлении границ водоохранных зон озёр (Догановский А.М. и Угренинов Г.Н., 2014 г.). В то же время при установлении плановых координат береговой линии предполагается определение высотной отметки порога слива вместе с съемкой рельефа дна неизученного озера. Но, как правило, сведений об отметках порогов слива неизученных озер нет. Поэтому отсюда вытекает цель данной работы – разработка методики определения отметок порогов слива для неисследованных озер.

Предполагаемый способ решения поставленной задачи использует сведения об уровнях воды в озере и в реке, а также данные о расходах вытекающей реки.

Для разработки данной методики были выбраны по водомерным постам оз. Сямозеро – пос. Сяпся и вытекающей реки Сяпся пост д. Чуралахта. А также материалы полевого обследования данного озера, для проверки полученных результатов. В качестве исходных материалов использовались данные о морфологических особенностях строения истоков вытекающей из озера реки в зависимости от происхождения котловины водоемов.

В первую очередь были построены графики зависимости отметок уровней воды в озере и на реке по полученным материалам с постов. Основываясь на полученный график, был сделан вывод, что связь уровней воды хорошая, коэффициент корреляции равен 0,99.

Затем была построена кривая зависимости $Q=f(H)$. При этом по данным измеренных расходов воды кривая была проэкстраполированна вниз до нулевого расхода.

При построении данной кривой использовались данные о максимальных уровнях, площадях, скоростях. Значения расходов, площадей и скоростей уходят в ноль при уровне воды в реке 104,30 м БС. После этого по полученному уровню воды, соответствующему нулевому расходу воды, была установлена отметка воды в озере, которую можно представить, как отметку порога водослива. В данном случае она равна 106,12 м БС. Полученная отметка порога слива озера сравнивается с полевыми материалами, полученными в ходе изысканий на этом водном объекте. В первом приближении эти отметки практически совпадают.

Следующим этапом работы была аппроксимация формы русла реки на изливе в форму трапеции с коэффициентами берегового откоса, соответствующего морфологии котловины. По данным об измеренных расходах воды определяется ширина и, следовательно, местоположение порога водослива в истоке реки.

Далее местоположение ширины порога излива привязывается к очертаниям берегов зоны истока реки и выявляются общие закономерности.

Для неисследованных озёр по выявленным закономерностям устанавливается зона возможного порога излива и, если нет наблюдений на реке, используя аналоги,

определяем среднемноголетний расход и на основании полученного значения рассчитываем отметку порога слива для неизученного озера.

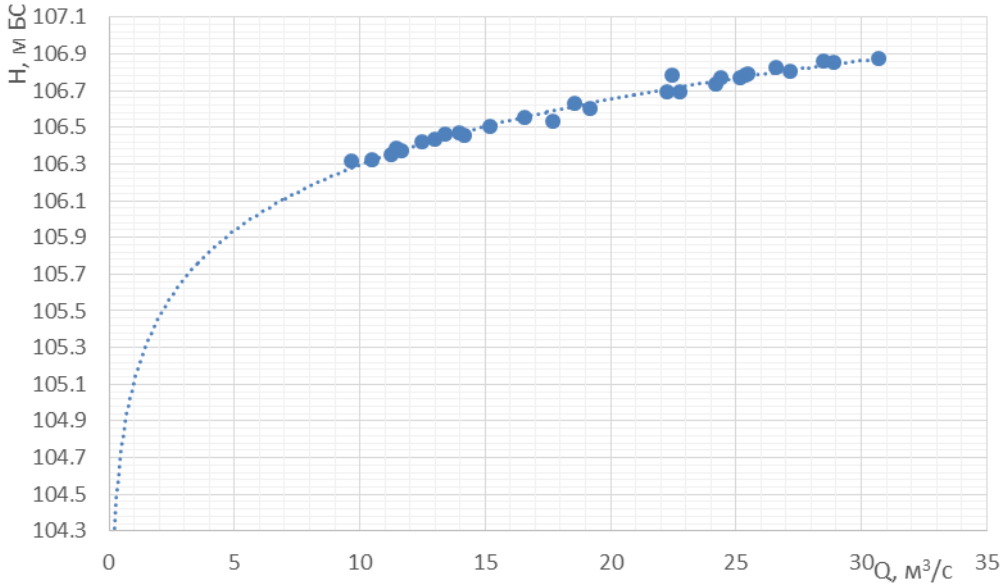


Рисунок 1. Кривая Q=f(H) реки Сяньги

Список литературы

Догановский А.М., Угренинов Г.Н. Разработка методики установления начала отсчёта ширины водоохраной зоны на неизученных озёрах. // Учёные записки РГГМУ, 2014, № 34, с. 103–105.

Determination the level mark of threshold drain of unexplored drainage lake

Davydenko E.V.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg
davydenko91@mail.ru

Abstract: In establishing the level mark of threshold drain on the unexplored lake are encouraged to use modal information about the studied lakes-analogues in the territory homogeneous of the genesis of lake basins and factors streamflow formation on lake catchments.

Keywords: Lake, volume, level, overregulation, threshold drain, dynamic volume.

Прогнозирование и оценка гидрологических рисков в период весеннего половодья

Докус А.А., Шакирзанова Ж.Р.
Одесский государственный экологический университет, Одесса
angel.dokus@gmail.com

Аннотация: В статье представлен современный подход прогнозирования характеристик максимального стока весеннего половодья, картографического обобщения гидрометеорологических характеристик по территории с целью предоставления заблаговременных предупреждений о развитии катастрофического половодья и предотвращения чрезвычайных ситуаций гидрологического характера, уменьшение разрушительных последствий наводнений, обеспечения безаварийного пропуска ледохода и паводковых вод. Моделирование речного стока является важным элементом при планировании и управлении системами водоснабжения и контроля, а также при предоставлении прогнозов вероятности опасного гидрологического явления для потребителя.

Для прогнозирования ежегодных гидрологических рисков при прохождении весенних половодий равнинных рек авторами предлагается использование метода территориальных долгосрочных прогнозов характеристик весеннего половодья, в основу которого положена идея предварительного установления типа водности будущей весны по комплексу гидрометеорологических факторов при использовании многомерного дискриминантного анализа, а далее прогноза слоёв стока и максимальных расходов воды по региональным зависимостям от суммарных запасов воды в снежном покрове и весенних осадков, выраженных относительно их среднемноголетних значений. Данный метод прогноза позволяет определять и вероятностную оценку характеристик максимального стока.

Предложенный метод позволяет предупредить возникновение катастрофически высокого половодья (за 15-45 суток до наступления явления), предоставить количественную и вероятностную оценку стоковых величин и сроков прохождения весеннего половодья в целом для крупных регионов, включая реки, не изученные в гидрологическом отношении, найти координаты любой точки в данном регионе и определить степень возможной угрозы от наводнения пойменных территорий.

Построение карт рисков затопления при использовании ГИС-технологий выполняется в оперативном режиме выпуска прогнозов и дает возможность сопровождения развития риска при формировании весеннего половодья, проведения анализа гидрометеорологической ситуации в бассейне и регионе в целом. Предложенные карты предоставляют информацию о наводнениях различной вероятности и просты в использовании для заказчика. Наличие автоматизированных систем обработки, передачи гидрометеорологической информации создает новые возможности развития гидрологических прогнозов. Появилось новое понятие «прогноз в реальном масштабе времени», при котором особое место принадлежит постоянному сопровождению и корректировке гидрологического прогноза.

Ключевые слова: весеннее половодье, долгосрочный прогноз, гидрологический риск.

Введение

Комплексное использование водных ресурсов в значительной степени опирается на научное исследование водного и ледового режима рек, озер и водохранилищ, что ведет к росту уровня требований к гидрологическим прогнозам со стороны потребителей. Гидрологическое прогнозирование направлено на оценку текущего состояния и возможных изменений водных ресурсов, их планирования, осуществления «водных»

проектов, а также смягчения последствий стихийных «гидрологических» бедствий. Предварительная оценка гидрологических рисков наводнений может быть более эффективной при использовании научно-обоснованного метода долгосрочного прогноза характеристик максимального стока весеннего половодья – наиболее полноводной фазы режима равнинных рек. Наводнение является природным явлением и его невозможно предотвратить, однако при мониторинге его развития, есть возможность в разы сократить негативные последствия половодья для жизни и здоровья людей, окружающей среды, культурного наследия и экономической деятельности.

Для прогнозирования ежегодных гидрологических рисков при прохождении весенних половодий равнинных рек авторами предлагается использование метода территориальных долгосрочных прогнозов характеристик весеннего половодья при использовании ГИС-технологий картографического представления прогнозных величин. Данный метод прогноза позволяет определять, как стоковые характеристики, так и их вероятностные оценки для любых рек территории, включая и неизученные в гидрологическом отношении. Следует отметить, что данный метод учитывает основные принципы Водной Паводковой Директивы 2007/60/ЕС Европейского Парламента и Совета от 23 октября 2007 года об оценке и управлении рисками затоплений, а именно − регламентирует действия до наступления наводнений, позволяет прогнозировать экстремальные сценарии наводнений, предоставлять рекомендации к действиям органов в сфере водной политики, а также учитывает возможные последствия изменения климата.

Понятие «риск» появилось ещё в XIV веке. На сегодняшний день понятие «риск» говорит о возможном возникновении неблагоприятных последствий, вызванных антропогенными или природными явлениями (Музалевский и др., 2011). Гидрологический риск, в свою очередь, может быть вызван речными наводнениями, которые возникают во время продолжительных ливней, вследствие таяния снега и при заторах, быстрым затоплением побережий, повышением уровня грунтовых вод и др.

Изученность исследуемого объекта

Объектом исследования является бассейн равнинной крупной реки Украины – Южного Буга, единственной, которая полностью протекает по ее территории и впадает в бассейн Черного моря. Длина реки 806 км, водосборная площадь речного бассейна полностью находится на территории Украины и составляет 63,7 тыс. км^2.

Реки бассейна верхнего и среднего течения Южного Буга характеризуются выраженным весенним половодьем и низкой меженью. Главным источником питания рек в весенний период является снеготаяние, но не исключено и выпадение дождей. Доля весеннего стока в годовом составляет до 70-94% (низовья Южного Буга), который формируется при различных сочетаниях гидрометеорологических условий и в отдельные годы может быть опасным природным явлением.

Гидрологические наблюдения на реке Южный Буг имеют достаточно длительные ряды стоковых характеристик, начиная с конца XIX - начала XX века. На сегодняшний день по исследованиям авторов на 2017 год действующими являются 24 гидрологических поста из ранее функционирующих 50-ти. Наблюдения за метеорологическими и агрометеорологическими характеристиками весеннего половодья осуществляют 25 метеостанций, равномерно расположенных по территории бассейна и имеют длительные периоды наблюдений.

В работе использованы исходные гидрометеорологические данные, которые полученные из фондовых и режимных изданий гидрометслужбы и автоматизированной системы текущего получения информации АРМ-гидро (Украинского гидрометцентра):

- характеристики максимального стока весеннего половодья (слои стока и максимальные расходы воды) с начала стоковых гидрологических наблюдений на реках по 2017 год;

- метеорологические и агрометеорологические характеристики за период с 60-х годов XX века по 2017 год.

Следует отметить, что современная автоматизированная система АРМ-гидро содержит и данные об уровнях и расходах воды, при которых наблюдаются опасные явления (ОЯ) и стихийные гидрометеорологические явления (СГЯ), которые являются показателями возможных гидрологических рисков. При анализе территории бассейна Южного Буга было установлено, что в отдельные годы последнего двадцатилетия наблюдались половодья, при которых зафиксированы риски наводнений (1998, 2003, 2006, 2010 гг.).

Материалы и методы исследования

В основу исследования положены данные наблюдений (по состоянию на 2017 г.) за гидрометеорологическими и агрометеорологическими характеристиками весеннего половодья (расходами воды, температурой воздуха, осадками, запасами воды в снежном покрове, глубиной промерзания почв, индексом их увлажнения).

В работе были использованы методы теоретического анализа, географического обобщения, статистической обработки временных рядов гидрометеорологических наблюдений, дискриминантный анализ.

Метод долгосрочных прогнозов максимального весеннего стока рек (слоёв стока и максимальных расходов воды) относится к классу математической детерминистической (динамической) модели стока с сосредоточенными параметрами и основана на использовании региональных зависимостей этих величин от количества влаги на бассейне, выраженных в модульных коэффициентах, то есть по отношению к их среднемноголетним величинам (Шакирзанова, 2015)

$$Y_m / Y_0 = f\left[(S_m + X_1 + X_2)/(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})\right], \quad (1)$$

$$q_m / q_0 = f[(S_m + X_1)/(S_0 + X_{1_0})] \quad (2)$$

где Y_m и Y_0 – слой стока весеннего половодья и его среднемноголетняя величина, мм; q_m и q_0 – максимальный модуль весеннего половодья и его среднемноголетняя величина, м^3/(с·км^2); S_m и S_0 – максимальный запас воды в снежном покрове перед началом весеннего снеготаяния и его среднемноголетняя величина, мм; X_1 и X_{1_0} – жидкие осадки периода весеннего снеготаяния и их среднемноголетняя величина, мм; X_2 и X_{2_0} – жидкие осадки периода спада весеннего половодья и их среднемноголетняя величина, мм.

Особенностью методики является то, что на первом этапе прогноза производится предварительный диагноз типа водности будущей весны по знаку дискриминантной функции (выше, ниже или около нормы). Для бассейна Южного Буга уравнение имеет вид

$$DF = a_0 + a_1 k_X + a_2 k_{q_{пв}} + a_3 k_L + a_4 \theta_{02}, \quad (3)$$

где $k_X = (S_m + X_1 + X_2)/(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})$ – модульный коэффициент запасов влаги на бассейне, которые принимают участие в формировании весеннего половодья; $k_{q_{пв}} = Q_{пв} / Q_{пв_0}$ – модульный коэффициент индекса увлажнения почв ($Q_{пв}$ и $Q_{пв_0}$ – средний месячный расход воды перед началом весеннего половодья и его норма, м^3/с); $k_L = L / L_0$ – модульный коэффициент максимальной за зиму глубины промерзания почв (L и L_0 – глубина промерзания почв и ее норма, см); θ_{02} – среднемесячная температура воздуха в феврале, ^{o}C.

При отсутствии ежегодных и многолетних гидрометеорологических данных, восстановление пространственных полей запасов воды в снеге, глубин промерзания и влажности почв производится по картам их распределения по территории или по связям с географической широтой пунктов измерений или площадями водосборов рек.

Установлено, что для речных систем, которые находятся в близких условиях формирования весенних половодий параметры дискриминантных уравнений постоянны и могут использоваться для всех рек однородных по условиям формирования весеннего стока районов.

Построенные в соответствии со знаком дискриминантных функций прогнозные зависимости (1) и (2) описываются полиномом, например, 3-й степени $k_m = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X{}^2 + b_3 k_X{}^3$, где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты полинома.

Переход от модульных коэффициентов к прогнозным значениям осуществляется:

- для слоёв стока, Y_m, мм, по уравнению $Y'_m = k_m \cdot Y_0$, где k_m – модульный коэффициент слоёв весеннего стока ($k_m = Y_m / Y_0$);
- для максимальных расходов воды, Q_m, м^3/с, по уравнению $Q'_m = k_m \cdot q_0 \cdot F$, где k_m – модульный коэффициент максимальных расходов воды ($k_m = q_m / q_0$), F – площадь водосбора.

На реках, где стоковые наблюдения практически отсутствуют, среднемноголетние значения слоёв весеннего стока снимаются с карты с введением поправочных коэффициентов на залесенность и заболоченность бассейнов или определяются по их зависимости от географической широты водосборов (φ в долях град.). Среднемноголетние величины максимальных модулей весеннего половодья q_0 для рек, неизученных в гидрологическом отношении устанавливаются по модели редукционных типовых гидрографов половодий (Гопченко и др., 2014).

Определение значений вероятностных оценок наступления прогнозных величин в многолетнем периоде осуществляется по прогнозным модульным коэффициентам слоев стока или максимальных расходов воды половодья и их статистическим характеристикам при использовании трехпараметрического гамма-распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля (Пособие, 1984), в виде интервала $P_1 < P_{Y(Q)} < P_2$, где P_1 и P_2 – верхняя и нижняя границы обеспеченности.

Спрогнозированные характеристики весеннего половодья в виде модульных коэффициентов для слоёв стока или максимальных расходов воды представляются в картографическом виде при использовании ГИС-технологий (Shakirzanova et al., 2017). В виде карт представляются и вероятностные оценки *P*% наступления прогнозируемого явления в многолетнем разрезе.

Результаты исследования

Результаты проверки методики долгосрочных прогнозов максимального стока весеннего половодья за период с 2000 по 2015 гг. по 10 опорным водосборам показали удовлетворительные оценки. Всего за 15 лет было выпущено и оценено (на даты составления прогнозов − 10, 20, 28 февраля и дату максимальных снегозапасов) более тысячи прогнозов для слоев стока и максимальных расходов воды весеннего половодья. В каждом году прогнозирование велось при установлении неизвестных (на даты выпуска прогнозов) метеорологических факторов, используя предоставленные в прогнозной схеме рекомендации по их определению и считая метеорологические условия зимне-весеннего сезона близкими к климатической норме.

В частности, выполненная оценка слоёв стока и максимальных расходов (уровней) воды весеннего половодья 2016-2017 г. в бассейне р. Южный Буг, показала, что прогноз является оправдавшимся с хорошими результатами. Оценка возможных рисков наводнений свидетельствует, что расходы и уровни воды не превышали значений опасных отметок, при которых наблюдаются подтопления объектов (при ОЯ и СГЯ).

Выводы

Предложенный метод территориальных долгосрочных прогнозов характеристик весеннего половодья равнинных рек позволяет предупредить возникновение катастрофически высокого половодья, предоставить количественную оценку стоковым значениям прохождения весеннего половодья в целом для крупных регионов, включая реки, недостаточно изученные в гидрологическом отношении.

Предложенная методика предусматривает представление прогнозов характеристик половодья как в табличной форме, так и в картографическом представлении прогнозных величин при использовании ГИС-технологий, что практично при обработке и комплексном анализе данных.

Построение карт при использовании ГИС-технологий выполняется в оперативном режиме выпуска прогнозов и даёт возможность сопровождения развития риска наводнения при формировании весеннего половодья на реках и проведения анализа гидрометеорологической ситуации в бассейне и регионе в целом. Предложенные карты предоставляют информацию о возможных наводнениях разной вероятности (низкой, высокой, средней) и просты в использовании для заказчика.

Список литературы

Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика // *СПб.: РГГМУ, ВВМ,* 2011: 448.

Шакірзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України // *Одеса: ФОП Бондаренко М.О.,* 2015: 252.

Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник // *Одеса: ТЕС*, 2014: 484.

Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. *Л.: Гидрометеоиздат,* 1984: 448.

Shakirzanova Zh., Kazakova (Dokus) A., Volkov A. Territorial long-term forecasting of spring flood haracteristics in the modern climatic condition utilizing geographical informational systems. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences.* Vol. 7. No.1. April 2017: 13-16.

Forecasting and estimation of hydrological risks during the spring flood

Dokus A.O.*, *Shakirzanova Zh.R.
Odessa State Environmental University, Odessa
angel.dokus@gmail.com

Abstract: The article presents a modern approach to forecasting the characteristics of the maximum spring flood runoff, a cartographic generalization of hydrometeorological characteristics across the territory with the view to providing early warnings about the development of catastrophic floods and prevention of hydrological emergency situations, reducing the destructive consequences of floods, ensuring accident-free passing of ice drift and flood waters. River flow modeling is an important element in the planning and management of water supply and control systems, and in providing predictions of the likelihood of a hazardous hydrological phenomenon to the consumer.

To forecast annual hydrological risks during the spring floods of lowland rivers, the authors propose to us the method of territorial long-term forecasts of spring flood characteristics based on the idea of preliminary determining the type of water content of the future spring for a complex of hydrometeorological factors using multivariate discriminant analysis, and further forecasting the runoff layers and maximum duty of water by regional dependencies on total water reserves in the snow cover and spring precipitation, expressed in terms of their multi-year averages value. This method of forecasting allows to determine a probabilistic estimation of characteristics of maximum runoff.

The proposed method allows to prevent the occurrence of a catastrophically high flood (15-45 days before the onset of the phenomenon), to provide a quantitative and probabilistic estimate of the run-off values and the timing of the spring flood in general for large regions, including rivers which are not studied hydrologically, to find the coordinates of any point in this region and determine the degree of possible threat from flooding floodplain areas.

The generating of flood risk maps using GIS technologies is carried out in the operational mode of issuing forecasts and provides an opportunity to accompany the development of risk in the formation of spring high water, the analysis of the hydrometeorological situation in the basin and the region as a whole. The proposed maps provide information on floods of different probability and are easy to use for the customer. The availability of automated processing systems, the transfer of hydrometeorological information creates new opportunities for the development of hydrological forecasts. There was a new concept of "forecast in real time", in which a special place belongs to the constant maintenance and correction of the hydrological forecast.

Keywords: spring flood, long-time forecast, hydrological risk.

Скоростные поля потоков в руслах сложных форм сечения

***Исаев Д.И.*, Барышников Н.Б.**
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
dii2006@yandex.ru

Аннотация: Изложена методика расчётов средних на вертикалях скоростей русловых составляющих потоков, находящихся под воздействием потоков поймы. Она основана на методике А.В. Караушева, разработанной для потоков в руслах простых форм сечения, и учёте эффекта взаимодействия русловых и пойменных потоков.

Выполнена оценка зоны воздействия руслового потока на пойменные. Установлено, что ширина этой зоны находится в зависимости от шероховатости поверхности поймы.

Ключевые слова: средняя на вертикали скорость, эффект взаимодействия потоков, методика, формула Шези, угол α, русловая составляющая, погрешность расчётов

Введение

Известно (Барышников, 2012, 2007, Карасев 1980), что особенности морфологического строения участка расположения расчётного морфоствора определяют гидравлику потоков в руслах с поймами. Именно это позволило разработать типизации процессов взаимодействия русловых и пойменных потоков. В частности, в РГГМУ (Барышников и др. 2012) была разработана типизация, основанная на учёте морфологических особенностей строения участка, расположенного ниже расчётного створа. В ней выделено пять типов взаимодействия потоков. В качестве основного фактора принято расположение динамических осей взаимодействующих потоков относительно, которое в свою очередь определяется направлением геометрических осей русла и поймы. Отметим, что средние измеренные скорости русловых потоков при воздействии на них пойменных потоков могут существенно отличаться от аналогичных, но определённых по методике, основанной на допущении о равномерности движения потоков, т.е. на основе формулы Шези.

Исходные материалы и методика.

Анализ натурной информации по более, чем пятидесяти рекам бывшего Советского Союза позволил получить зависимость для расчётов средних скоростей русловых составляющих потоков от средних глубин и углов α вида $v_р/v_{р.б} = f(h_р/h_{р.б}, \alpha)$, где α – угол между динамическими осями взаимодействующих русловых и пойменных потоков.

Было отмечено, что средние скорости русловых потоков при изменении глубин и углов α могут увеличиваться в несколько раз при втором типе взаимодействия потоков и, наоборот, уменьшаются в разы при вторжении пойменных вод в русловой поток. Таким образом, характер изменения средних скоростей русловых составляющих потоков, при изменении глубин и углов α зависит от особенностей морфологического строения участка расположения морфоствора. При воздействии пойменного потока изменяется не только величина средних скоростей русловых потоков, но и средних на вертикалях скоростей. Более того, как правило, наблюдается смещение максимума этих скоростей в сторону противоположную пойме.

Одним из первых это выявил В.Н. Гончаров (Гончаров, 1962) на основе анализа данных экспериментальных исследований на моделях русла с односторонними и двухсторонними поймами, выполненными из бетона. Более сложная структура скоростного поля руслового потока наблюдается при двухсторонней пойме. Хотя средняя скорость потока тоже уменьшается, но максимальная скорость находится почти по середине сечения.

Даже предварительный анализ лабораторных данных позволяет считать, что под воздействием пойменного потока происходит трансформация скоростного поля руслового потока. Более чётко эта трансформация проявляется при анализе натурных данных. Анализ этих данных позволил установить, что на малых и средних реках трансформация скоростного поля руслового потока происходит по всей его ширине, а на больших, таких как Амур, Обь, Волга и другие, она затрагивает только часть припойменного руслового потока (Барышников и др. 2012) .

Так, трансформация поля скоростей руслового потока под воздействием пойменного потока при больших углах схождения динамических осей потоков ($\alpha \approx 50^0$ и 30^0), полученные как по данным измерений по отношению к рассчитанным по методике А.В. Караушева (Караушев, 1969), основанной на формуле Шези. Величины этих отклонений достигают 370%.

Такая картина имеет место на р. Конде у с. Чантырья, на р. Бобр у с. Куты и др. Однако на ряде рек этой группы, где углы схождения динамических осей потоков русла и поймы малы, наблюдается существенно отличная картина изменения скоростей руслового потока под влиянием пойменного.

Для разработки методики расчётов средних на вертикалях скоростей русловых составляющих потоков были использованы сведения об измеренных детальным способом расходах воды на пойменных створах при наивысших уровнях, когда пойма была затоплена.

На основе данных о максимальных расходах воды и площадях поперечного сечения при соответствующих уровнях воды были определены средние скорости русловых составляющих потоков , $\overline{v} = \frac{Q}{F} = C\sqrt{\overline{h}I} = \frac{\overline{h}^{2/3} I^{1/2}}{n}$, где C - коэффициент Шези, $\overline{h}$ –средняя глубина, I –уклон водной поверхности, n– коэффициент шероховатости.

Учитывая, что уклоны водной поверхности либо не измеряются, либо погрешности их измерений велики, да и точность определения коэффициентов шероховатости низкая, было решено принять $I^{1/2}/n = \beta$. Тогда $\overline{v} = \beta \overline{h}^{2/3}$. Отсюда $\beta = \frac{\overline{v}}{\overline{h}^{2/3}}$. Далее было сделано допущение, основанное на разработках отечественных исследователей (Гончаров, 1962 и др), о том, что коэффициент β может быть так же применён к расчёту средних на вертикалях скоростей потоков, т.е. $v_i = \beta h_i^{2/3}$. Здесь v_i и h_i –средние на вертикалях скорости и глубины русловых составляющих потоков. По этой методике была рассчитаны средние на вертикалях скорости v_{pi} при наивысших расходах воды и на основе натурных данных определены погрешности их расчётов $\Delta v_i = v_{\text{изм}_i} - v_{p_i}$ и Δv_i / $v_{\text{изм}i}$ %. Следует отметить, что максимальные расходы, как правило, не измеряются особенно на пойменных створах, а рассчитываются либо статистическими методами, либо по данным измерений параметров морфостворов. В частности, коэффициент β может быть определён по приведённому выше выражению, т.е. $\beta = I^{1/2}/n$. При этом значения n и I определяются по данным полевых измерений, в частности, по описанию участка расположения морфоствора и соответствующим таблицам для определения коэффициентов шероховатости.

Учитывая, что объём натурной информации при третьем и, особенно при втором типах взаимодействия потоков ограничен, в качестве дополнительных были использованы данные измерений расходов воды при четвертом и пятом типах, процесс взаимодействия которых на этих реках преимущественно происходит по третьему типу. При этом

осредненные значения угла $\overline{\alpha}$ между динамическими осями взаимодействующих по пятому типу потоков определялись по формуле $\overline{\alpha} = \frac{\Sigma \Delta h_i \alpha_i}{h_i}$. Здесь Δh_i- интервал глубин соответствующий значению угла α_i.

Затем были построены графические зависимости $(\Delta v / v_{изм})_{ср} = f(\alpha)$ и $(\Delta v / v_{изм})_{макс} = f(\alpha)$, приведённые на рисунке 1. Как видно на рисунке, эти зависимости достаточно тесные и близки к линейным. Коэффициенты корреляции для них соответственно равны 0,80 и 0,69.

Безусловно, эти зависимости нуждаются в уточнении на основе большего объёма исходной информации и после этого вполне могут быть использованы для корректировки значений средних на вертикалях скоростей, рассчитанных на основе методики А.В. Караушева. Таким образом, методика расчётов предлагается в следующем виде. По планово-высотным крупномасштабным материалам определяют угол α и тип взаимодействия потоков. Методика определения угла α основана на работах отечественных исследователей, доказавших, что угол α может быть определён по крупномасштабным планово-высотным материалам как угол между осреднёнными направлениями изобат в русле реки и горизонталей на пойме при отметке расчётного уровня воды. При этом точность определённого таким образом угла α будет составлять $\pm 3^0$. По значению угла α и графику $(\frac{\Delta v}{v})_{изм} = f(\alpha)$ (рис.1) определяют величину погрешности расчётов $(\Delta v / v_{изм})_{ср}$, обозначим её *m*, т.е $(\frac{\Delta v}{v_{изм}})_{ср} = m$, которая приравнивается величине изменения скоростей руслового потока под влиянием потока поймы. По величине *m* определяется значение $v_{изм}$, исходя из формулы $m = \frac{v_{изм} - v_р}{v_{изм}}$. После простейших преобразований получают $v_{изм} = v_р(m-1)$. Здесь $v_р$–соответствующее значение средней на вертикали скорости руслового потока, определённой по методике А.В. Караушева, т.е. на основе допущения о равномерном движении.

Таким образом, по предлагаемой методике, основанной на введении поправок к рассчитанным по формуле Шези-Маннинга значениям средних на вертикалях скоростей русловых составляющих потоков, получается близкое к фактическому значение этих скоростей.

Зависимости, аналогичные приведённым на рисунке 1, можно получить как для второго типа взаимодействия потоков, так и для пойменных вертикалей.

К сожалению, качество натурной информации о пойменных составляющих максимальных расходов воды низкое. При сложном рельефе и большей чем в русловой части ширине пойменных потоков количество скоростных вертикалей на пойме, как правило, меньше чем в русле. Иногда оно ограничивается одной -двумя вертикалями. Поэтому получить зависимости, аналогичные, приведённым на рис.1 для пойменной составляющей, в настоящее время, не представляется возможным. Несмотря на это, можно констатировать, что воздействие руслового потока на скоростное поле пойменного по данным экспериментальных исследований на абстрактных моделях русел с гладкими поймами, достигает 5-6 ширин руслового потока. Анализ же натурных данных позволяет сделать вывод о том, что это влияние находясь в зависимости от шероховатости и глубины затопления поймы, распространяется на значительно меньшую ширину

пойменного потока. На поймах интенсивно заросших кустарником и лесом это влияние ограничивается одной – двумя ширинами руслового потока.

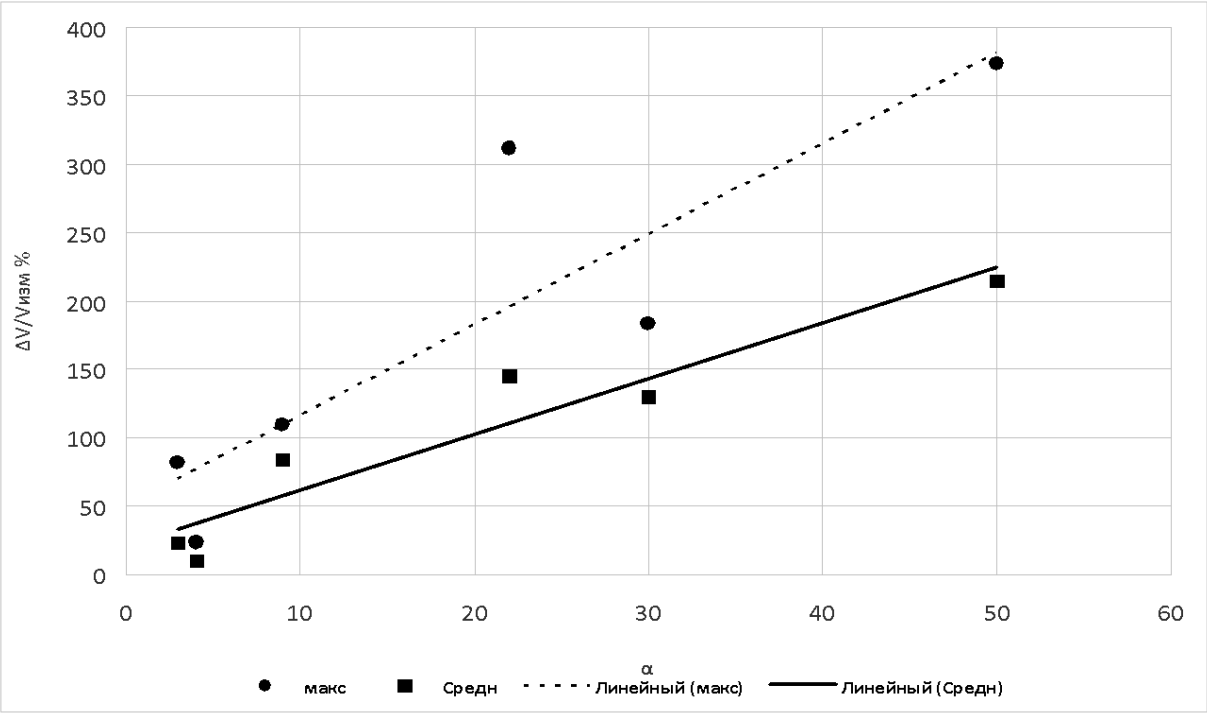


Рис.1 Зависимости средних и максимальных погрешностей расчётов средних на вертикалях скоростей русловой составляющей потока от углов α

Заключение

В заключении следует отметить, что это первые шаги в разработке данной расчётной методики. Они выполнены только для условий третьего - пятого типов взаимодействия потоков и то на ограниченном объёме исходной информации. По-видимому, необходимо провести аналогичные расчёты для условий второго типа взаимодействия потоков, характеризующегося расхождением их динамических осей, а также для пойменных составляющих потоков. Эти расчёты можно будет выполнить только при наличии надежной натурной информации.

Список литературы:

Барышников Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. - СПб.: изд. РГГМУ, 2012.

Барышников Н.Б. О некоторых проблемах в гидрологии// Учёные записки РГГМУ, 2007, №5.– С.19-24.

Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Бурцев К.С., Поташко Е.А. Влияние прирусловых валов на процесс взаимодействия русловых и пойменных потоков// Учёные записки РГГМУ, 2012, №26.– С.19-24.

Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков . – Л.: Гидрометеоиздат, 1962.

Железняков Г.В. Пропускная способность русел рек и каналов. – Л.: Гидрометеоиздат,1981.

Карасёв И.Ф. Речная гидрометрия и учёт водных ресурсов. – Л.: Гидрометеоиздат,1980.

Караушев А.В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969.

Velocity field in compound open channel flows

Isaev D.I.*, *Baryshnikov N.B.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg
dii2006@yandex.ru

Abstract: An approach to computing the average velocities of flow in a vertical profile, which are impacted by the floodplain currents, is presented. This approach is based on A. Karaushev's method that was developed for description of currents in channels with simple cross-section's shapes taking into account the riverbed and floodplain flows interaction.

Dimensions of the zone of influence of the riverbed flow component onto the floodplain flows were estimated. It was found that the width of this zone depends on the roughness of the floodplain surface.

Keywords: average velocity on the measuring vertical, effect of the flows interaction, approach, Chezy equation, angle α, riverbed component, computational error

Моделирование стока малой равнинной реки (на примере р. Велеса в бассейне Западной Двины)

Казачук А.А., Терский П.Н.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
alenaishappy@ya.ru

Аннотация: В данной работе рассматривается проблема расчета речного стока для водосбора малой реки Велесы. Для решения этой проблемы используется модель SWAT, разработанная службой сельскохозяйственных исследований министерства сельского хозяйства США. Проведена калибровка, верификация модели, выявлены чувствительные параметры, а также смоделированы среднемесячные гидрографы стока для р. Велесы с целью продления рядов расходов воды на периоды, когда наблюдения отсутствуют.

Ключевые слова: гидрологическое моделирование, речной сток, Велеса, SWAT, калибровка параметров, чувствительность и неоднозначность модели

Введение

Объект исследования – малая река Велеса (площадь бассейна 1420 км^2) представляет собой характерный по условиям формировнаия стока водоток верхней части трансграничного бассейна р. Западной Двины. Велеса протекает по равнинной заболоченной территории Тверской области и впадает в Западную Двину. Водный режим освещен слабо, вблизи устья действует гидрологический пост Рудня (площадь водосбора 890 км^2), период наблюдений непродолжительный – 1989-2006 гг.

В современной гидрологии постоянно возрастают требования к качеству и детальности расчетных характеристик речного стока, которые являются ключами к воднобалансовым расчетам, оценке транспорта взвешенных наносов и загрязняющих веществ. Наиболее перспективное развитие расчетов и прогнозов речного стока связано с ипользованием математического моделирования, которое опирается на геоинформационные технологии пространственного анализа данных о подстилающей поверхности, толще почвогрунтов и распределения метеорологической информации по территории. Гидрологические модели успешно применяются и в нашей стране, однако их применение направлено в основном на большие реки, и в меньшей степени на малые, в частности из-за дефицита исходных данных. Кроме того, это связано с тем, что гидрологические прогнозы строятся на регрессионных зависимостях и эмпирических подходах (Руководство,1989), обобщаемых для больших водосборов, но индивидуальных для каждого малого водосбора. В настоящее время физическая обоснованность современных гидрологических моделей позволяет отойти от регрессионных зависимостей, использовать большие объемы гидрометеорологической информации на основе статистических и численных методов.

Один из немногих способов восстановления рядов речного стока – гидрологческое моделирование. Главной целью данной работы являлось моделирование среднемесячных гидрографов стока для р. Велесы для продления рядов расходов воды на периоды, когда наблюдения отсутствуют.

Материалы и методы

Процессы формирования стока, а также формулировка подходов к его моделированию были описаны Р.Хортоном в 1945 г (Horton, 1945) и развиты К.Бивеном в многочисленных публикациях (Beven, Kirkby, 1979). Глубоким анализом стокоформирующих факторов в нашей стране впервые занялись такие ученые, как

Алексеев Г.А. и Великанов М.А., в 1940-50 гг. Результаты их исследований определили основу первой модели формирования дождевого стока, созданной в 1963 г. Р.К. Линслеем.

По мере развития методов обработки гидрометеорологической информации и вычислительных мощностей появилась возможность успешно работать с детерминированными моделями с распределенными параметрами, а также интенсивно развивать динамико-стохастические (Гельфан, Демидов, Мотовилов). В настоящее время наиболее известный российский программный комплекс моделирования формирования речного стока – ECOMAG (Мотовилов, 2004). Успешно применяется комплекс «Гидрограф» (Виноградов и др., 2010), модель формирования паводочного стока на Дальнем Востоке (Гарцман, 2008) и другие. Сегодня, в практике моделирования стока рек стали широко использоваться современные средства пространственного представления поверхности водосборов и информационного обеспечения моделей (Интернет, ГИС, результаты дистанционного зондирования Земли), что привело к образованию новых моделирующих структур - интегрированных информационно-моделирующих систем (ИИМС). Они включают в себя: пространственно распределенные гидрологические модели и их программное обеспечение, базы различных данных и системы управления ими, географические информационные системы, зачастую имеют серверное исполнение, например, американская ИИМС "HAWQS"(https://epahawqs.tamu.edu/).

Выбор гидрологической модели основывается на задачах, пространственно-временном масштабе изучаемых процессов, на ожидаемых результатах ее применения, а также на возможности использовать те или иные исходные данные. В целях данной работы требуется модель открытого использования, обладающая математической основой, пригодной для малого водосбора, в которой в то же время заложен комплекс средств расчета стока наносов и биогенных элементов, обладающая высокой чувствительностью к информации о водосборе. Среди мировых продуктов такими свойствами обладает гидрологическая модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool), разработанная службой сельскохозяйственных исследований министерства сельского хозяйства США, прошедшая многоуровневую проверку состоятельности в сфере гидрологии, сельского хозяйства, городской гидрологии и др. (Gassman et al., 2007). В настоящее время модель широко применяется в 32 странах мира. Преимуществами модели SWAT по сравнению с другими моделями является наличие обширной и качественной документации, отсутствие ограничений по площади водосбора, совместимость с современными ГИС-пакетами (ArcGIS, QGIS, MapWindow), наличие внешней программы автокалибровки SWAT-CUP (Abasspour et al., 2015), находящейся в открытом доступе, а также наличие открытой электронной библиотеки тематических публикаций и профессионального онлайн-сообщества.

Процесс моделирования различных видов стока (воды, растворенных веществ, взвешенных наносов) основан на расчете формировании речного стока и его параметризации. Моделирование стока с помощью модели SWAT проходит в несколько этапов.

В первую очередь необходимо создать модель водосбора. В данной работе это было реализовано с помощью программного комплекса ArcSWAT с использованием следующих исходных данных:

1. Цифровая модель рельефа ALOS PALSAR RTC разрешением 12,5 метров, созданная в рамках программы Alaska Satellite Facility Геофизическим институтом Аляскинского университета в Фэрбенксе. Данная модель представлена в открытом доступе в удобном для ГИС формате GeoTiff.
2. Растровый слой почв мира HWSD FAO (fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en) разрешением примерно 1 км, а также база данных со всеми физическими характеристиками разных слоев,

полученная из MAPWINDOW GIS (mapwindow.org) , которая подготовлена Швейцарским водным центром (eawag.ch/en) на основе данных FAO-HWSD.

3. Растровый слой ландшафтов и землепользования GlobeLand30 разрешением 30 метров, созданный Национальным центром геоматики Китая (globallandcover.com)

Следующим важным шагом является подготовка базы метеорологических данных. В модели SWAT реализуется посуточный шаг расчета водного баланса водосбора и учитываются основные процессы водообмена поверхности водосбора с атмосферой, почвенными и подземными водами, русловыми и нерусловыми водотоками, растительным покровом. Часть исходных данных (ежедневные максимальная и минимальная температуры воздуха, осадки и относительная влажность) представляет собой результат наблюдений и ежедневных осреднений по метеостанциям, полученный из следующих источников:

- ВНИИГМИ-МЦД (meteo.ru)
- базы данных NOAA и ECAD (data.nodc.noaa.gov, www.ecad.eu)

Скорость ветра и суммарная солнечная радиация наблюдаются далеко не на всех станциях, поэтому использованы данные реанализа ERA-Interim (https://www.ecmwf.int). Реанализ используется также для заполнения пропусков в рядах других величин.

Для подготовки гидрологических данных проводился анализ многолетних колебаний стока на посту Рудня, в результате которого был выявлен период малой водности с 1960 по 1987 гг., а также многоводный период с 1987 года и до конца наблюдений. Полученные в результате анализа периоды водности обусловили выбор рядов наблюдения за расходами воды для работы модели, непрерывный ряд наблюдений имеется в период 1989-2000 гг., в том числе: 1989-1992 – warm-up период (период «разогрева»), 1992-1996 – период калибровки, 1996-2000 – период верификации модели среднемесячного стока.

В модели SWAT расчет водного стока опирается на 33 основных параметра. Перечень чувствительных параметров зависит от генетических особенностей речного стока, размера бассейна и временного шага реализации модели (ежедневного, месячного или годового), а также от выбора подхода – распределенного или сосредоточенного (для распределенных параметров). Калибровка параметров возможна вручную, но в данной работе оценка чувствительности и калибровка параметров реализована на основе статистических методов с помощью специального ПО SWAT CUP (Abbaspour et al., 2007)

Результаты

Калибровка и веривикация позволили адаптировать модель SWAT для водосбора с талым стоком, где преобладающую роль в формировании стока играют снежные параметры.

В результате калибровки каждого параметра по одному было выявлено 15 параметров, чувствительных к изменениям среднемесячного стока (табл.1). Дальнейшая калибровка модели с применением только чувствительных параметров привела к очень хорошим результатам (критерий Нэша-Сатклиффа составил 0,81). При использовании полученных в результате калибровки интервалов изменения чувствительных параметров для преиода верификации были получены хорошие значения критерия Нэша-Сатклиффа(0,74) и среднеквадратической ошибки(-0,2).

Полученные при калибровке и верификации значения чувствительных параметров были подставлены в модель SWAT, в результате чего удалось расчитать компоненты водного баланса со среднемесячным шагом, а также восстановить ряды стока за период отсутствия наблюдений до 2010 года (рис.1).

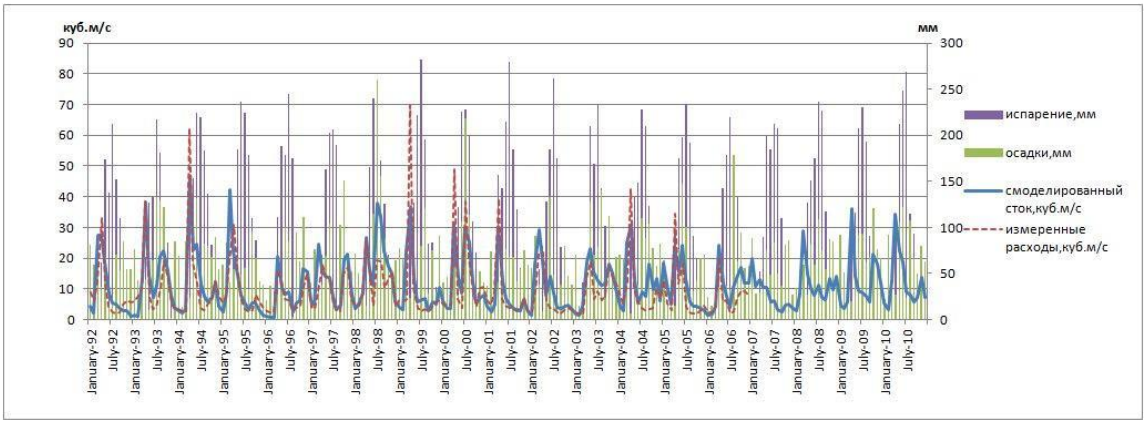


Рис. 1 Совмещенный график измеренных расходов воды, смоделированных расходов, осадков и испарения

Табл. 1 – Результаты калибровки чувствительных параметров модели р. Велесы для среднемесячного шага расчета водного стока

№	Наименование параметра	Описание	Диапазон значений	Вычисление среднемесячного стока
1	CN2_FRST	Номер кривой связи «сток-осадки» для леса	35-98	86-94
2	CN2_HAY,URLD,RNGB,RNGE	Номер кривой связи «сток-осадки» для территории без леса (луга,пастбища,территории под антропогенным воздействием, территории, занятые водой)	35-98	93-102
3	GW_DELAY	Запаздывание грунтовых вод (дни)	0-500	0.34
4	GWQMN	Минимальная глубина залегания воды в первом водоносном горизонте, при которой возможен водообмен с поверхностью (мм)	0-5000	927
5	GW_REVAP	Коэффициент испарения почвы	0,02-2	0.03
6	RCHRG_DP	Доля фильтрации в глубокий водоносный горизонт	0-1	0.43
7	SOL_AWC	Свободная влага почвы, мм H_2O/мм почвы	0-1	0-0,175
8	SOL_K	Коэффициент фильтрации, мм/ч	0-2000	15,2-30,5
9	CH_L2	Длина основного канала, км	-0,05-500	131
10	HRU_SLP	Средняя крутизна склона	0-1	0.08
11	SFTMP	Температура воздуха, ниже которой выпадают осадки только в виде снега, °С	-20-20	3.55
12	SMTMP	Температура начала снеготаяния, °С	-20-20	1.08
13	SNOCOVMX	Минимальное содержание воды в снеге, соответствующее 100% снежному покрову	0-500	16.2
14	SNO50COV	Доля воды в снеге от момента начала схода снега, соответствующее 50% снежному покрову	0-1	0.72
15	CN_FROZ	Коэффициент фильтрации для промерзшей почвы	0,0001 - 0,9	0.87

Выводы

1) адаптирована модель SWAT для малого водосбора р. Велесы с преобладаением талого стока с использованием стратегии последовательной калибровке генетически различных групп параметров;

2) выявлены 15 чувствительных параметров, модель откалибрована с хорошим результатом (критерий Нэша-Сатклиффа составил 0.81 при калибровке и 0,74 при верификации);

3) рассчитано испарение в бассейне р.Велесы со среднемесячным шагом;

4) восстановлены ряды стока р.Велесы на посту Рудня за период отсутствия наблюдений (2006-2010 гг.).

Список литературы:

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Академия, 2010. 320 с.

Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 223 с.

Мотовилов Ю.Г. Информационно-моделирующий комплекс ECOMAG для моделирования речных бассейнов // VI Всероссийский гидрологический съезд: тезисы докл. – СПб, 2004, с. 139.

Открытый ресурс "30-meter GlobalLand cover data product", 2014. [Электронный ресурс], доступ по ссылке http://www.globallandcover.com/[18.07.2017]

Официальный сайт ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД". [Электронный ресурс], доступ по ссылке meteo.ru [10.02.2017]

Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: ГМИ, 1989. – 358 с.

Abbaspour K.C., Rouholahnejad E., Vaghefi S., Yang R.,H., Kløve B.. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model // Journal of Hydrology. Volume 524, May 2015, Pages 733-752

Abbaspour K.C., Vejdani M., Haghighat S. SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT. Proc. Intl. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'07). 2007. P. 1603–1609.

Beven K.J., Kirkby M.J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology // Hydrol. Sci. Bull. 1979. Vol 24(1). P 43-69.

Carbon Dioxide Information Analysis Center http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/

Dataset: JAXA/METI ALOS-1 PALSAR RTC. Accessed through ASF DAAC, [Электронный ресурс], доступ по ссылке https://www.asf.alaska.edu [15.08.2017]

Gassman P., Reyes M., Green C., Arnold J. (2007), The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions // Transactions of the ASABE, vol. 50, issue 4, pp. 1211-1250

Global Surface Summary of the Day (NOAA) https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00516

Hydrologic and Water Quality System (HAWQS) - web-based interactive water quantity and quality modeling system. [Электронный ресурс], доступ по ссылке https://epahawqs.tamu.edu/

Horton R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology // Geol. Soc. Am. Bull., 1945, Vol. 56, № 36, P. 275-370.

Internet database ECA&D ссылка: ECA&D (2013). "European Climate Assessment & Dataset (ECA&D). Report 2008". European Climate Support Network of EUMETNET: 70 pp www.ecad.eu/

Nachtergaele, F., Van Velthuizen, H., Verelst, L., Batjes, N., Dijkshoorn, K., Van Engelen, V., Fischer, G., Jones, A., Montanarella, L., Petri, M., et al. (2008) Harmonized World Soil Database. Food Agric. Organ. U. N. [Электронный ресурс], доступ по ссылке http://www.fao.org [15.03.2017]

Small river runoff modeling using SWAT (case study of the Velesa river, Zapadnaya Dvina basin)

Kazachuk A.A., Terskii P.N.
Lomonosov MoscowState University, Moscow, Russian Federation
alenaishappy@ya.ru

Absract: In this paper authors concentrate on the problem of water runoff calculation for small catchment of Velesa river using SWAT hydrological model. The results of model setup, parameters sensitivity analysis, calibration and validation are the set of quantitative values of the sensitive parameters, monthly river runoff and water balance components. Calibrated model allows filling gaps in observed data based on calculated monthly discharges.

Keywords: Hydrological modeling, river runoff, Velesa, SWAT, parameter calibration, model sensitivity and uncertainty

Внутригодовое распределение речного стока в многоводные годы (на примере водосбора Воткинского водохранилища)

Калинин В.Г., Механошина Е.В., Пискарева К.И., Богданова К.А.
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь
katya_mehanoshina@mail.ru

Аннотация: На основе ежедневных, среднемесячных и среднегодовых расходов воды по 49 гидрологическим постам на реках водосбора Воткинского водохранилища проведен анализ внутригодового распределения стока в многоводные годы и выделено три характерных типа гидрографа. В качестве критериев типизации использованы: выделенные фазы водного режима; доля весеннего (IV-VI) стока в годовом; величина уменьшения среднегодового расхода воды при «срезке» дождевых паводков. Выполнена оценка пространственного распределения типов гидрографов на реках водосбора Воткинского водохранилища по условиям формирования максимального среднегодового расхода воды.

Ключевые слова: река, внутригодовое распределение стока, многоводные годы.

Введение

Изучение речного стока и его внутригодового распределения является важной научной и практической задачей современной гидрологии. Установление закономерностей изменения стока рек внутри года по сезонам и внутри сезонов имеет большое значение для выполнения гидрологических расчетов при проектировании и строительстве гидротехнических и других промышленных объектов.

Формирование внутригодового стока происходит в результате сложного взаимодействия отдельных компонентов водного баланса водосбора. Выделяют три группы факторов, влияющих на формирование речного стока:

- климатические факторы (средние многолетние величины атмосферных осадков, испарения, температуры воздуха);
- метеорологические факторы (осадки, испарение и температура воздуха за конкретные годы и более конкретные интервалы времени);
- факторы речного бассейна (размер и форма бассейна, рельеф, растительность, водные бассейны, почвогрунты) (Комлев, 2002).

Цель работы – анализ внутригодового распределения стока (ВГРС) рек водосбора Воткинского водохранилища в многоводные годы.

Территория водосбора общей площадью 184240км², охватывает бассейн Верхней и Средней Камы и расположена на северо-востоке Европейской части России. Протяженность с севера на юг составляет 640 км – от 61°57’с.ш. до 56°05’с.ш., а с запада на восток около 530 км от 51°35’в.д. до 60°27’ в.д. Около 80,5% водосборной площади приходится на Пермский край (Калинин, 2014). Правобережная часть водосбора находится на Русской равнине, левобережная – в предгорьях и на западном склоне Уральских гор.

Реки водосбора Воткинского водохранилища относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними паводками и длительной устойчивой зимней меженью. Снеговые воды являются главным источником в питании рек. Доля талых вод в суммарном стоке рек достигает 85-90% в южных лесостепных районах и 60-65% – в горных частях территории, при этом велика и роль дождей (до 40%). Около 25-35% годового стока формируются подземным путём (Ресурсы…,1973).

Материалы и методы

Анализ внутригодового распределения стока рек водосбора Воткинского водохранилища в годы высокой водности выполнен на основе разработанного методологического подхода, включающего в себя: выбор многоводных лет, типизацию гидрографов, расчет месячного стока и районирование исследуемой территории по ВГРС, оценку влияния естественной зарегулированности стока на ВГРС, исследование воздействия основных факторов на формирование стока весеннего половодья в многоводные годы (Калинин, Суманеева, 2016).

Исходными данными послужили значения ежедневных, среднемесячных и среднегодовых расходов воды по 49 гидрологическим постам (г/п). По каждому посту ряды со значениями среднегодовых расходов воды ранжировались в порядке убывания. Ранжированные ряды были разделены на 3 группы характерной водности согласно СП 33-101-2003 (2004): многоводные ($P < 33{,}3\%$), средние по водности ($33{,}3\% \leq P \leq 66{,}7\%$) и маловодные годы ($P > 66{,}7\%$). В многоводной группе исследовались годы с высоким среднегодовым расходом воды так, чтобы данные имелись для большинства гидрологических постов.

Исследования проводились в два этапа. Сначала были выбраны многоводные 1965, 1978, 1979, 1984 гг., которые для 15 г/п явились годами с самым максимальным среднегодовым расходом воды, обеспеченностью $P \leq 5\%$, а для 34 г/п – $10{,}0\% \leq P < 33{,}3\%$. Затем для проверки полученных результатов выбраны еще пять многоводных лет (1971, 1986, 1990, 1993, 1994 гг.). В эти годы обеспеченность P среднегодовых расходов воды составила: для 7-ми г/п – < 5%, а для 22-х г/п – $5\% \leq P < 33{,}3\%$.

Анализ результатов

Анализ ВГРС рек за 1965, 1978, 1979, 1984 многоводные годы выполнялся по гидрографам, построенным на основе ежедневных расходов воды для каждого гидрологического поста. Для анализа условий формирования высокого среднегодового расхода воды нами предложена следующая типизация гидрографов:

1-й тип – высокое продолжительное весеннее половодье и паводки в теплую часть года;

2-й тип – высокое весеннее половодье и незначительные или отсутствующие летне-осенние паводки;

3-й тип – невысокое весеннее половодье и значительные летне-осенние паводки.

Критерием отнесения к тому или иному типу являлось: а) оценка ВГРС по внешнему виду гидрографа (выявление фаз водного режима); б) количественный критерий – доля весеннего (IV-VI) стока в годовом и величина уменьшения среднегодового расхода воды при «срезке» дождевых паводков (если уменьшение составляло 15% и более, то считалось, что дождевые паводки оказывают существенное влияние на величину среднегодового расхода воды и гидрограф относится к другому типу).

Анализ пространственного распределения разных типов гидрографов за 1965, 1978, 1979, 1984 гг. показал, что они характерны для рек разных частей водосбора Воткинского водохранилища:

1-й тип – *северная и горная часть* (реки Кама, Весляна, Лупья, Пильва, Вишера, Колва, Язьва, Яйва, Косьва);

2-й тип – *юго-западная* (р. Тулва) *и юго-восточная части* (реки Сылва, Вогулка, Иргина, Бабка, Ирень, Барда, Чусовая, Сулем, Серебряная, Койва, Усьва);

3-й тип – *центральная часть* (реки Уролка, Кондас, Иньва, Кува, Велва, Обва, Очер, Гайва, Мулянка) (рисунок).

Если рассматривать ВГРС рек в 1971, 1986, 1990, 1993, 1994 гг., то можно сделать вывод о том, что в эти многоводные годы также выделяются три типа гидрографов и их пространственное распределение по территории водосбора Воткинского водохранилища практически полностью совпадает.

Отдельно следует отметить реки Лолог и Коса (рисунок), которые были отнесены к рекам с 1-м типом гидрографа, хотя в отдельные годы на них наблюдался 3-й тип. В первой группе лет: в 1965, 1979 и 1984 гг. на них наблюдался 1-й, а в 1978 г. – 3-й тип гидрографов. Во второй группе лет на этих реках в 1971 и 1994 гг. наблюдался 3-й, а в 1986, 1990 и 1993 гг.– 1-й тип гидрографов, за счет выпадения большего количества атмосферных осадков в период половодья и, как следствие, увеличения стока в эти годы. Величина уменьшения среднегодового расхода воды при «срезке» дождевых паводков составила более 15%.

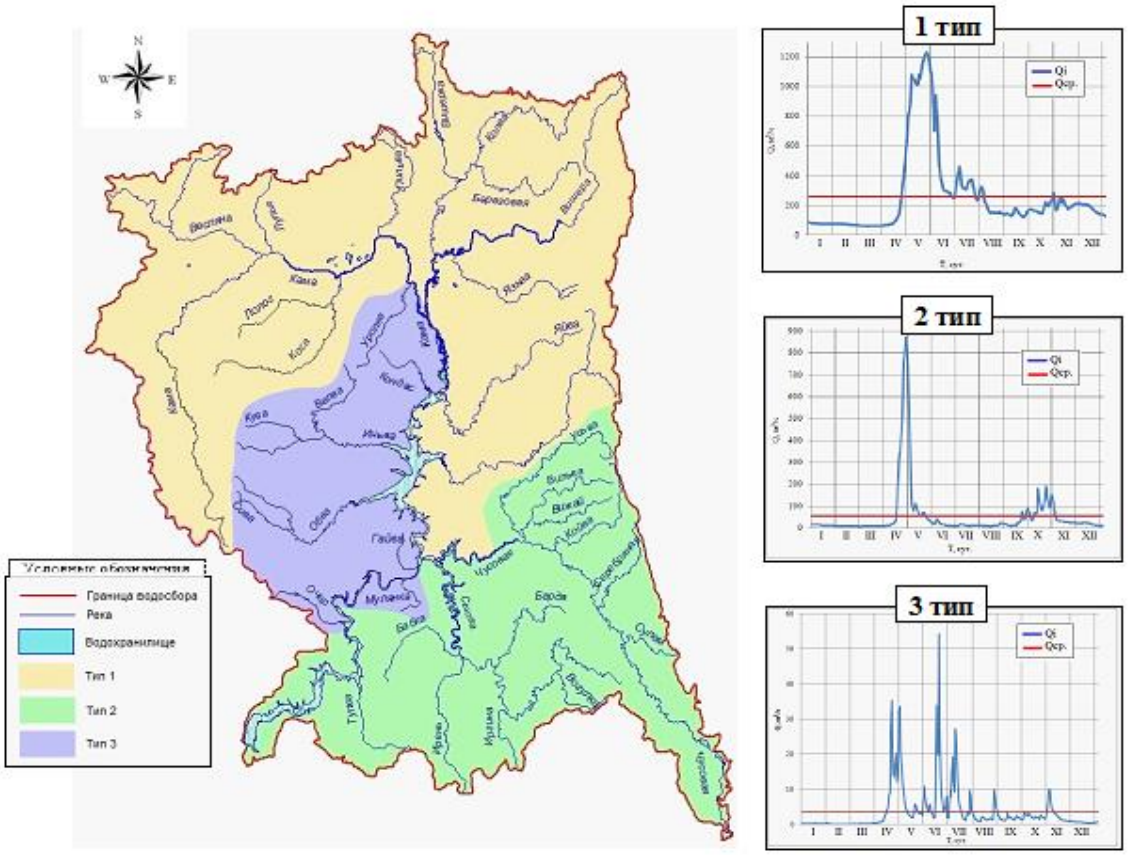


Рисунок. Пространственное распределение типов гидрографов на реках водосбора Воткинского водохранилища по условиям формирования максимального среднегодового расхода воды: 1-й тип (р. Кама – п. Гайны); 2-й тип (р. Чусовая – п. Кын); 3-й тип (р. Велва – д. Ошиб)

Наряду с типизацией гидрографов и выявленными закономерностями их пространственного распределения выполнено исследование сроков начала, максимума, окончания весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков, а также значений доли их месячного стока в годовом. Как показал анализ, гидрографы с одинаковыми сроками объединяются в группы в соответствии с однородными условиями формирования внутригодового распределения стока рек в многоводные годы. Это дало возможность выполнить районирование исследуемой территории.

Влияние естественной зарегулированности стока на ВГРС за все многоводные годы для каждого гидрологического поста определялось на основе рассчитанных значений коэффициента естественной зарегулированности стока и доли стока (% от годового стока) за весенний период (IV-VI). Выявлено, что с увеличением площади водосбора

наблюдается увеличение естественной зарегулированности стока и, как следствие, уменьшение значений доли стока в весенний период за все исследуемые годы.

Выводы

1. Разделение территории по преобладающему типу гидрографа обусловлено зональным характером распределения метеорологических факторов, которое определяет величину стока в характерные фазы водного режима. На территории водосбора Воткинского водохранилища наблюдаются три характерных типа гидрографа:

- 1-й тип – высокое продолжительное весеннее половодье и паводки в теплую часть года;
- 2-й тип – высокое весеннее половодье и незначительные или отсутствующие летне-осенние паводки;
- 3-й тип – невысокое весеннее половодье и значительные летне-осенние паводки.

2. Анализ гидрографов за 1971, 1986, 1990, 1993, 1994 гг. показал, что внутригодовое распределение стока рек водосбора Воткинского водохранилища за эти годы соответствует типизации, предложенной на основе исследования ВГРС рек за 1965, 1978, 1979, 1984 многоводные годы. При этом были уточнены границы пространственного распределения типов гидрографов. Таким образом, используемый метод является справедливым при оценке внутригодового распределения стока рек в многоводные годы.

3. В пределах водосбора Воткинского водохранилища выделены районы с однородными условиями формирования внутригодового распределения стока рек. В качестве критерия районирования использованы группы гидрографов с одинаковыми сроками начала, максимума, окончания весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков, а также значений доли их месячного стока в годовом.

4. С увеличением водосборной площади бассейна реки наблюдается увеличение естественной зарегулированности стока и, как следствие, уменьшение значения доли стока в весенний период за все исследуемые годы.

Список литературы:

Калинин В.Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон: монография. Перм. гос. нац. ислед. ун-т – Пермь,2014. – 184с.:ил.

Калинин В.Г., Суманеева К.И. О методологическом подходе к исследованию внутригодового распределения стока рек в годы высокой обеспеченности // V Всеросс. науч. конф. «Ледовые и термические процессы на водных объектах России» (11–14 октября 2016 г.), Владимир, 2016. С. 206–211.

Комлев А.М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока: монография. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002. – 163 с.

Свод правил: СП 33-101-2003. Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2004. – 84 с.

The intra-annual distribution of river runoff in high water years (on the example of Votkinskoe reservoir catchment area)

Kalinin V.G., Mekhanoshina E.V., Piskareva K.I., Bogdanova K.A.
Perm State University
katya_mehanoshina@mail.ru

Abstract: Analysis of the intra-annual runoff distribution in high water years, based on daily, average monthly and average annual water discharges for 49 hydrological posts on the rivers of the Votkinskoe reservoir catchment area was made and three characteristic types of the hydrograph were identified. As criteria for typification, the following are used: the separated phases of the water regime; share of spring (IV-VI) runoff in annual; the magnitude of the decrease in the average annual water discharge during the «cutting off» of rain floods. An estimation of hydrograph's types spatial distribution on the rivers of the Votkinskoe reservoir catchment area was carried out according to the conditions of the maximum average annual water discharge formation.

Keywords: river, intra-annual flow distribution, high water years

Особенности калибровки региональных физико-математических моделей формирования стока крупных речных бассейнов для оценки климатически обусловленных изменений водного режима

Калугин А.С.
Институт водных проблем РАН, Москва
kalugin-andrei@mail.ru

Аннотация: Проведена адаптация программного комплекса ECOMAG для моделирования речного стока в бассейнах рек Амур и Лена по информации из глобальных баз данных (рельефа, почв, ландшафтов). По результатам калибровки и верификации модели проведена статистическая оценка эффективности расчетов речного стока за многолетний период по имеющимся данным наблюдений на сети гидрометеорологического мониторинга для створов, расположенных как на основном русле рек, так и на их притоках, по альтернативным критериям помимо традиционных (например, критерий Нэш-Сатклифа, систематическая ошибка), которые ориентированы на воспроизведение стока в различные фазы водности, в том числе показатели изменчивости речного стока. Использование «жестких» критериев проверки качества моделей позволяет более объективно оценить их возможности для проведения экспериментов с климатическими моделями. Оценивались возможности использования разработанных моделей в различных физико-географических и климатических условиях в пределах исследуемых речных бассейнов с паводочным режимом стока (р.Амур) и с преобладающим талым стоком в период весеннего половодья (р.Лена). В результате для 8-ми из 10-ти створов гидрометрических постов в бассейне Амура и 4-х из 5-ти створов в бассейне Лены получены хорошие или удовлетворительные результаты расчета среднемесячных и среднегодовых расходов воды. Результаты расчетов попали в разряд неудовлетворительных по критерию систематической ошибки и критерию для оценки низкого стока по нескольким створам с небольшой относительно других створов площадью водосбора. Вероятно, это объясняется недоучетом характерных для этих рек локальных особенностей формирования речного стока, в том числе в период ледостава.

Ключевые слова: речной сток, модели формирования стока, калибровка параметров, критерии оценки качества моделирования.

Введение

В последние годы получили распространение методы оценки возможных изменений водного режима, обусловленные изменениями климата, на основе региональных физико-математических моделей формирования стока с распределенными параметрами, в которых в качестве граничных условий заданы сценарии будущих гидрометеорологических воздействий на речной водосбор, рассчитанные с помощью численных моделей общей циркуляции атмосферы и океана. Применение численных физико-математических моделей формирования стока, проверенных по воспроизведению характеристик водного режима за период наличия данных наблюдений, способствует снижению неопределенности полученных оценок гидрологических последствий изменения климата. Значения большинства параметров гидрологических моделей заданы из глобальных баз данных о подстилающей поверхности и имеют определенный физический смысл, что в сочетании с физическим описанием гидрологических процессов создает принципиальную возможность решения экстраполяционных задач. С целью получения более надежных результатов оценки возможных гидрологических последствий изменения климата рекомендуется в процессе калибровки моделей формирования стока

применять различные критерии качества воспроизведения моделью характеристик наблюденного водного режима рек, например, критерий Нэш-Сатклифа и его модификации, критерий Клинга-Гупты, систематическая погрешность нормы стока и его дисперсии.

Материалы и методы

Исследования проведены на примере бассейнов крупных рек Сибири и Дальнего Востока (Амур и Лена). Для бассейна р.Амур (1.85 млн. км^2) характерен умеренный климат с ярко выраженным муссонным характером циркуляции атмосферы и циклонической деятельностью, для р.Лены (2.5 млн. км^2) - холодный резко континентальный климат. Для снижения риска наводнений в бассейне Амура организованы несколько крупных водохранилищ: Зейское и Бурейское на территории РФ и Фэнмань, Байшань, Лианхуа, Ниэрцзы на территории КНР, в бассейне Лены – Вилюйское водохранилище.

Модели формирования стока исследуемых речных бассейнов разработаны на платформе информационно-моделирующего комплекса ECOMAG (ECOlogical Model for Applied Geophysics) с суточным шагом по времени и пространственным разрешением равным размеру ячейки расчетной сетки (элементарному водосбору) и позволяют описать пространственное распределение по территории водосбора процессов формирования снежного покрова и снеготаяния, промерзания и оттаивания почвы, вертикального тепло- и влагопереноса в мерзлой и незамерзшей почве, эвапотранспирации, поверхностного и подповерхностного движения воды по водосбору, грунтового стока, движения воды в речной системе с учетом влияния водохранилищ. Подробное описание модели формирования стока в бассейне р.Амур дано в работе (Калугин, 2016). Модель р.Лены была разработана на основе глобальных баз данных о подстилающей поверхности и в отличие от ранней версии модели с использованием отечественных баз данных (Gelfan et al, 2017) содержит более полное метеорологическое информационное обеспечение.

Схематизация речной сети и бассейнов рек в виде иерархии частных элементарных водосборов (расчетных единиц модели) выполнялась на основе цифровой модели рельефа HYDRO1k с пространственным разрешением 1 км. Средняя площадь построенных элементарных речных водосборов в бассейнах Амура и Лены составила около 900 км^2. Для определения параметров модели, распределенных по площади бассейна, использовались глобальные базы данных: почвенная база Harmonized World Soil Database и ландшафтная база Global Land Cover Characterization. При разработке модели в качестве граничных условий задавались многолетние ряды среднесуточных значений температуры и относительной влажности воздуха, интенсивности осадков, на 232 метеорологических станциях, расположенных в бассейне Амура (169 приходятся на российскую часть бассейна), и 203 станциях в бассейне Лены. Для калибровки моделей была подготовлена информация о суточных расходах воды на различных гидрометрических постах в бассейнах Амура и Лены, а также данные о сбросах воды из Зейского, Бурейского и Вилюйского водохранилищ. Ввиду отсутствия данных по сбросам из китайских водохранилищ в бассейне р.Сунгари, водохранилища описаны подобно озерам моделью линейных емкостей. Аналогично в модели учтен сток воды из оз.Ханка. На основе подготовленной информационной составляющей моделей проводилась их калибровка по различным параметрам, среди которых определяющими являются коэффициент формулы расчета испарения почвенной влаги, коэффициент стаивания, горизонтальная и вертикальная гидравлическая проводимость почвы, критическая температура определения фазы атмосферных осадков, таяния снежного покрова. Процедура калибровки организована таким образом, чтобы сохранить пропорциональность между абсолютными значениями конкретного пространственно-распределенного параметра для выделенных на

водосборе типов почв и характеристик ландшафтов, т.е. устранялась систематическая погрешность расчета.

В качестве критериев соответствия рассчитанных и фактических месячных объемов стока использовались распространенный в гидрологических исследованиях критерий Нэш-Сатклифа (NSE) и его модификация для минимального стока (NSE_{LF}), более чувствительная к ошибкам расчета низких расходов. Кроме того, оценка проводилась с помощью модифицированного критерия эффективности Клинга-Гупты (KGE), предложенного для устранения недостатка критерия NSE – занижение дисперсии рассчитанных расходов воды. Оценка качества расчета среднемноголетнего стока оценивалась путем вычисления относительной ошибки расчета (BIAS).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{f(i)} - Q_{s(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{f(i)} - \overline{Q_f}\right)^2} \qquad NSE_{LF} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{Q_{f(i)}+\varepsilon} - \frac{1}{Q_{s(i)}+\varepsilon}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{Q_{f(i)}+\varepsilon} - \frac{1}{\overline{Q_f}+\varepsilon}\right)^2}$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + \left(\frac{\overline{Q_s}}{\overline{Q_f}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\sigma_s/\overline{Q_s}}{\sigma_f/\overline{Q_f}} - 1\right)^2} \qquad BIAS = \frac{\overline{Q_f} - \overline{Q_s}}{\overline{Q_f}} \times 100\%,$$

где $Q_{f(i)}$ и $Q_{s(i)}$ – фактическое и рассчитанное значение расхода воды в i–й месяц, $\overline{Q}$ – среднее значение фактических расходов за период i=1,2,3…n, σ_f и σ_s – среднеквадратические отклонения фактического и рассчитанного расхода воды, r – коэффициент корреляции между фактическими и рассчитанные расходами воды, $\varepsilon = 0.01 \times \overline{Q_f}$.

В процессе ручной калибровки минимизировались усредненные (по рассматриваемым створам речной сети) значения критерия BIAS и максимизировались значения модификаций критерия NSE и KGE. При усреднении больший вес придавался створам с бóльшей площадью водосбора. Качество расчетов тем лучше, чем ближе значение NSE и KGE к единице, а BIAS – к нулю. На основе предложенных в работе (Moriasi et al, 2015) оценок качества расчетов в зависимости от сочетания величин NSE, KGE и BIAS принималось, что при расчетах гидрографов стока хорошими могут считаться результаты при $0.7 \le NSE \le 1$, $0.7 \le KGE \le 1$ и $|BIAS| \le 10\%$, удовлетворительными − при $0.5 \le NSE < 0.7$, $0.5 \le KGE < 0.7$ и $10\% < |BIAS| \le 15\%$.

Учитывая дальнейшее применение разработанных моделей для оценок гидрологических последствий изменений климата, проведена дополнительная статистическая оценка эффективности расчетов речного стока по критериям, ориентированным на показатели вариации (среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации) характеристик речного стока. Для этого рассчитывались BIASσ, $BIAS_{CV}$ для годовых объемов стока.

Результаты

Климатические модели с большой погрешностью воспроизводят ежедневные поля метеорологических характеристик, что приводит к неустойчивости оценок изменения водного режима рек по результатам расчетов гидрологических моделей на основе этих данных. Более надежные оценки могут быть получены путем усреднения рассчитанных величин стока за большие временные интервалы (месяц, год). Ниже представлены результаты соответствия рассчитанных среднемесячных и среднегодовых значений расходов воды фактическим.

Табл.1. Значения критериев качества расчета среднемесячного и годового стока в бассейнах рек Амур и Лена за период калибровки/верификации*

Река-гидропост	F, тыс.км^2	NSE	NSE_{LF}	KGE	BIAS, %	BIASσ, %	$BIAS_{CV}$, %
Амур-Хабаровск	1630	0.89/0.92	0.80/0.78	0.90/0.89	1.6/0.3	-9.1	-9.7
Амур-Богородское	1790	0.90/0.90	0.83/0.86	0.91/0.92	-5.7/0.7	1.5	2.9
Зея-Белогорье	229	0.77/0.92	0.79/0.78	0.87/0.95	-4.9/-0.3	1.6	4.2
Зейская ГЭС	83.8	0.88/0.93	0.73/0.76	0.92/0.94	-0.8/0.7	2.8	2.5
Селемджа-У.Ульма	67	0.81/0.84	0.88/0.82	0.79/0.80	-17/-18	-11	8.0
Б.Уссурка-Вагутон	23	0.79/0.83	0.90/0.90	0.84/0.86	13/10	1.1	-9.5
Бикин-Звеньевой	21.4	0.77/0.74	0.80/0.78	0.81/0.85	15/11	7.6	-4.8
Хор-Хор	24.5	0.82/0.79	-3.0/-1.7	0.68/0.59	-20/-26	-17	7.8
Бурея-У.Ниман	26.5	0.93/0.93	0.55/0.63	0.85/0.92	-13/-6.5	-6.2	3.9
Бурейская ГЭС	65.2	0.93/0.91	0.72/0.64	0.90/0.85	2.9/0.8	-1.0	-2.9
Лена-Столб	2460	0.93/0.95	0.87/0.91	0.84/0.83	15/15	14	-1.1
Лена-Кюсюр	2430	0.96/0.95	0.88/0.86	0.93/0.87	1.4/7.7	13	7.7
Лена-Табага	897	0.95/0.94	0.64/0.57	0.94/0.97	-5.3/-1.6	-5.4	-2.0
Лена-Крестовский	440	0.88/0.85	-1.1/-4.5	0.81/0.77	-18/-20	-10	11
Алдан-В. Перевоз	696	0.87/0.90	0.92/0.85	0.83/0.85	14/12	10	-2.2

****критерии BIASσ и $BIAS_{CV}$ определены за весь период расчета***

Калибровка параметров модели бассейна р.Амур проводилась для периода 1994-2003 гг. на 10 гидропостах с площадью водосбора от 0.02 до 1.8 млн. км^2, а для бассейна р.Лены – за период 1980-1989 гг. на 5 гидропостах с площадью водосбора от 0.44 до 2.5 млн. км^2 (табл.1). Проверка моделей проводилась для тех же створов на независимых данных измерений за период 2004-2013 гг. для Амура и 1990-1999 гг. для Лены. Согласно приведенным выше градациям критериев качества NSE, KGE и BIAS, для 8-ми створов гидрометрических постов в бассейне Амура и 4-х створов в бассейне Лены получены хорошие или удовлетворительные результаты расчета среднемесячных и среднегодовых расходов воды. Результаты расчетов попали в разряд неудовлетворительных по критерию BIAS для рек Хор, Селемджа и гидропоста Крестовский на р.Лена, по критерию NSE_{LF} для створов Хор и Крестовский, а также по критерию BIASσ для р.Хор. Ухудшение качества расчета в период низкой водности, характерный для зимних условий, может быть связано с невысокой точностью определения фактических расходов воды при ледоставе. Систематические ошибки расчета нормы стока и его изменчивости для некоторых створов с небольшой относительно других створов площадью водосбора, вероятно, возникают из-за недоучета характерных для этих рек локальных особенностей формирования речного стока. Результаты, приведенные в таблице, позволяют сделать вывод о хорошей точности расчета гидрографов стока рек бассейна Амура и Лены за период наблюдений по данным наземных метеорологических измерений. Кроме того, отмечается малая чувствительность критериев качества при переходе от калибровочного к проверочному периоду, что свидетельствует о робастности моделей – инвариантности их структуры и параметров по отношению к используемым входным данным.

Полученные удовлетворительные результаты воспроизведения водного режима рек Амур и Лена за период наблюдений дали основание полагать, что разработанные модели формирования стока применимы для оценки возможных гидрологических последствий изменения климата в исследуемых бассейнах рек. Подчеркнем, что была выбрана настройка моделей не по отдельным речным бассейнам притоков Амура и Лены, а для всего бассейна с одним набором параметров. Физико-географические и климатические

условия формирования стока в разных частях бассейнов этих рек существенно отличаются, однако разработанные модели позволили учесть эту неоднородность.

Выводы

Разработаны региональные численные физико-математические модели формирования речного стока для бассейнов рек Амур и Лена, учитывающие пространственную неоднородность характеристик водосбора, влияние водохранилищ и позволяющие рассчитать расходы воды по стандартным данным метеорологического и водохозяйственного мониторинга. При этом применен метод пространственной калибровки по различным критериям, когда сток рассчитывается в любой точке речной системы, что позволяет учесть особенности формирования стока не только на главной реке, но и на притоках. Разработанные модели формирования речного стока позволили с удовлетворительной точностью воспроизвести наблюденные гидрографы среднемесячного стока на 15-ти гидрологических постах (из них 9 на притоках). Численные эксперименты по оценке точности расчета гидрологических моделей проведены с применением альтернативных критериев помимо одного или нескольких наиболее часто используемых. Для большинства створов результаты расчетов получились хорошими и удовлетворительными по всем критериям, кроме тех, которые оценивают качество моделирования минимальных расходов и систематические погрешности. Полученные результаты по оценке точности расчета гидрографов и робастности моделей дают основание использовать их для исследования физически обоснованных региональных изменений водного режима крупных речных бассейнов при решении экстраполяционных задач, связанных с климатическими изменениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-77-10129)

Список литературы

Калугин А.С. Модель формирования стока реки Амур и ее применение для оценки возможных изменений водного режима // *Дис. канд. геогр. наук.* М.: ИВП РАН, 2016: 185.

Gelfan A., Gustafsson D., Motovilov Y., Arheimer B., Kalugin A., Krylenko I., Lavrenov A. Climate change impact on water regime of two great Arctic rivers: modeling and uncertainty issues // *Climatic change*, V.141, 3, 2017: 499–515.

Moriasi D.N., Gitau M.W., Pai N., Daggupati P. Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria // *Trans. ASABE*, V.58, 6, 2015: 1763–1785.

Features of calibration of regional physically-based models of runoff formation of large river basins for estimation of climate-determined changes in water regime

Kalugin A.S.
Water Problems Institute of RAS, Moscow
kalugin-andrei@mail.ru

Abstract: The adaptation of the ECOMAG software package for modeling river flow in the basins of the Amur and Lena rivers was carried out according to information from global databases (relief, soils, landscapes). Based on the results of the calibration and verification of the model, a statistical evaluation of the efficiency of river runoff calculations over a long period has been carried out based on available observational data on the hydrometeorological monitoring network for gages located both on the main riverbed and on their tributaries, on alternative criteria in addition to traditional (for example, the Nash-Sutcliffe criterion, a systematic error) that are oriented to the reproduction of flow in different phases of the water regime, including indicators of river flow variability. The use of "hard" criteria for verification of models allows us to more objectively assess their capabilities for conducting experiments with climate models. The possibilities of using the developed models in different geographical and climatic conditions within the studied river basins with a flood regime (the Amur River) and with the prevailing of spring flood (the Lena River) were estimated. As a result, good or satisfactory results of calculating the average monthly and annual runoff were obtained for 8 out of 10 gages in the Amur basin and 4 out of 5 gages in the Lena basin. The results of the calculations are unsatisfactory by the criterion of a systematic error and the criterion for estimating a low flow over several gages from a small catchment area with respect to other gauging stations. Probably, this is explained by the underestimation of local features of river runoff, characteristic of these rivers, including during the freeze-up period.

Keywords: river runoff, runoff formation models, calibration of parameters, criteria for estimation of modeling.

Сток с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий Европейской части России

***Коронкевич Н.И.*, Долгов С.В., Мельник К.С.**
Институт географии РАН, лаборатория гидрологии
hydro-igras@yandex.ru

Аннотация: Рассматривается сток с сельскохозяйственных полей и с урбанизированных территорий. Весенний сток с сельскохозяйственных полей определен по данным воднобалансовых станций, причем его величина «привязана» к средним многолетним значения речного стока за половодье – основную гидрологическую фазу на территории Европейской части страны. Выделены два вида угодий на сельскохозяйственных полях – зябь (осенняя пахота) и поля, нераспаханные с осени с уплотненной к началу весеннего половодья почвы. Показано, что склоновый сток с зяби значительно ниже, чем с других угодий, и разница в стоке возрастает в направлении с севера на юг. В 1980-е гг. площадь зяблевой пахоты под яровые культуры достигла максимальных значений. В дальнейшем, после распада СССР и на современном этапе эта площадь уменьшилась, но средневзвешенный склоновый сток с учетом структуры угодий существенно снизился в результате климатических изменений. Уменьшилось и влияние зяблевой пахоты на речной сток, по крайней мере вдвое по сравнению с периодом 1980х гг. Урбанизация территории приводит к увеличению как поверхностного, так и полного речного стока особенно в теплый период года. Выполненные расчеты показывают, что 1% урбанизированной территории настолько же увеличивает годовой речной сток. Влияние зяби и других агротехнических мероприятий на речной сток на современном этапе в значительной мере взаимокомпенсируется с влиянием урбанизации.

Ключевые слова: сток, зяблевая пахота, нераспаханные с осени поля, урбанизированные территории

Введение

Водный баланс и сток на значительной части Европейской территории России давно уже не являются естественными, а изменены в результате хозяйственной деятельности на водосборах, прежде всего сельскохозяйственной. В лесостепных и степных районах распахивается и засевается до 70-80% всей территории, применяются различные агротехнические и агролесомелиоративные приемы воздействия на поверхностный сток. В последние десятилетия быстро нарастает площадь урбанизированных территорий. Все это не может не сказываться на элементах водного баланса, в первую очередь на стоке. Работ, посвященных оценке гидрологической роли сельскохозяйственной деятельности (в основном неорошаемого земледелия) и урбанизации территории не мало. Но большая их часть выполнена довольно давно, а сделанные оценки нуждаются в обновлении.

Влияние на сток неорошаемого земледелия

Гидрологической роли неорошаемого земледелия в нашей стране посвящены работы М.И. Львовича (1963), А.М. Грина (1963), В.Е. Водогрецкого (1979), Н.И. Коронкевича (1990), А.Т. Барабанова, В.И. Панова (2012), А.И. Петелько, В.И. Панова (2014) и др. Все они базируются на данных воднобаласовых (стоковых) станций, сеть которых к настоящему времени резко сократилась. В настоящее время соответствующие наблюдения проводятся лишь на небольшом числе стоковых станций. Обычно величина поверхностного стока со склонов определяется на стоковых площадках. Стоковые площадки имеют длину несколько десятков метров, ширину 20-30 м, ограждены от других участков склона земляными валиками, оборудованы водоприемным устройством. Стоковые площадки обычно заняты наиболее характерными для данной местности

угодьями. Для периода весеннего половодья – основной гидрологической фазы на территории России, особый интерес представляет сравнение поверхностного склонового стока с полей, занятых зяблевой (осенней) пахотой и прочими полями, распахиваемыми весной, после окончания весеннего половодья. Поля, распаханные осенью, по сравнению с нераспаханными (с уплотненной почвой), к весне обладают повышенными инфильтрационными свойствами и пониженным поверхностным стоком, способствуя уменьшению и речного стока.

Если до 1930-х гг. зяблевая пахота под яровые культуры почти не применялась в нашей стране, то с 1930-х гг. с появлением большого количества тракторов и соответствующих возможностей масштабной обработки почв ее площадь стремительно увеличивалась. В 1960-е – 1980-е гг. она составляла до 40-50% общей площади водосборов в лесостепной и степной зонах, что не могло не сказаться на величине речного стока даже крупных рек. Однако с 1990-х гг. площади, занятые зяблевой пахотой, стали сокращаться как в связи с кризисными явлениями в сельском хозяйстве, так и заменой в значительной мере яровых культур озимыми.

Поскольку стоковые площадки на разных воднобалансовых станциях отличаются по размерам, уклонам, уровню агротехники, периоду наблюдений и ряду других характеристик был применен метод зонально-межзонального их обобщения путем «привязки» к величине среднего многолетнего речного стока за период половодья (по существу зонального) в районе расположения воднобалансовых станций (Коронкевич, 1990).

На основании обобщения данных более 30 воднобалансовых станций, расположенных в европейской (преимущественно) и азиатской частях СССР получены величины зонального весеннего поверхностного склонового стока гг. с рассматриваемых угодий для двух типов почв (суглинистых и супесчаных), характеризующие его до начала 1960-х гг., то есть за период исчисления нормы речного стока по К.П. Воскресенскому (1962). Обобщение показало, что в лесостепной зоне (значение речного стока половодья в Европейской части страны 60-100 мм) сток зяби на суглинках меньше, чем с полей, нераспаханных с осени (озимые, стерня, многолетние травы) в 1,3-2 раза, а в степной зоне при значения стока речного половодья 20 мм – до 6 раз и более. По процентному соотношению разных угодий и типов почв (на европейской территории страны преобладают суглинистые почвы) получены средневзвешенные значения зонального склонового стока с сельскохозяйственных полей (рис.).

В последующем, вплоть до начала 1980-х гг. площадь зяблевой пахоты нарастала и при практически мало меняющихся климатических условиях средневзвешенный склоновый сток соответственно снижался. По расчетам одного из авторов данной статьи (Коронкевич, 1990) это снижение составило в лесостепной зоне 20-40%, в степной – в среднем 60-70%. В результате к началу 1980-х гг. сток с пашни выразился в среднем в следующих величинах (см. рис.).

В последующие годы на европейской территории страны отмечается существенное изменение климатических условий, которое сказывается и на величине поверхностного склонового и речного стока. Вследствие наступления более теплых зим, меньшего промерзания почвы поверхностный склоновый сток снегового происхождения снижается.

Поскольку большинство воднобалансовых станций закрылось или на них резко сократился объем работ после распада СССР в оценке современного склонового стока приходится ориентироваться лишь на отрывочные сведения немногих сохранившихся к настоящему времени наблюдений на воднобалансовых станциях. К таковым относятся наблюдения на ряде станций ВНИАЛМИ (Барабанов, Панов, 2012; Петелько, Панов, 2014). На основании этих данных получается, что сток снизился как на зяби, так и на

нераспаханных с осени полях, причем на зяби более существенно. В результате гидрологическая роль зяблевой пахоты возросла в 1.5-2 раза.

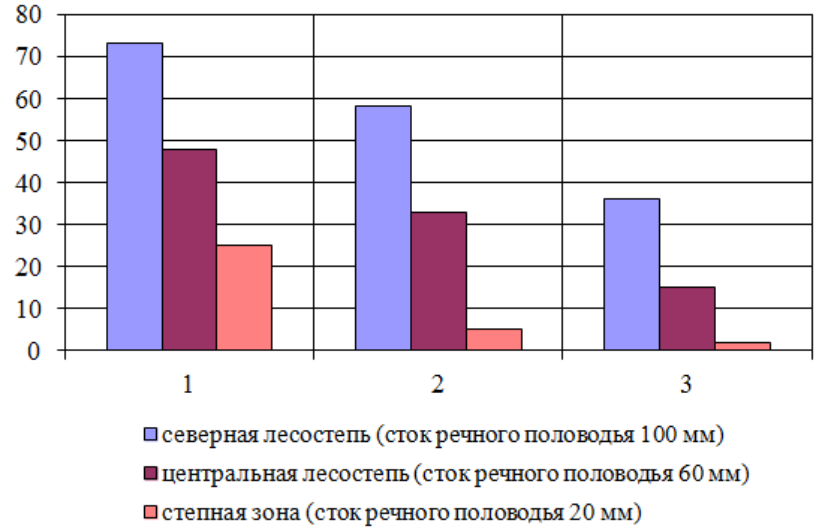


Рис.1. Поверхностный склоновый сток в разные периоды в южной части Русской равнины, мм. 1 – до 1960 г.; 2 – 1960-1980 гг.; 3 – 2000-ые гг.

Вместе с тем, уменьшение площади зяблевой пахоты способствовало увеличению средневзвешенного склонового стока на 10-20%. В целом климатическое воздействие преобладало и общее уменьшение поверхностного склонового стока за период половодья по сравнению с периодом исчисления нормы стока составило 2-3 раза в лесостепи и 4-10 раз на большей части степной зоны (см. рис.). Снижение поверхностного склонового стока привело и к уменьшению стока речного половодья, что хорошо показано в работах «Водные ресурсы России» (2008), Р.Г. Джамалова с соавторами (2015).

Современное уменьшение склонового стока при сравнительно мало изменившимся стоке с площади гидрографической сети по крайней мере в 1.5-2 раза увеличивает долю последнего в общем речном стоке половодья в лесостепных и степных районах и соответственно снизило вклад поверхностного склонового стока. Уменьшилось влияние зяблевой пахоты и других агротехнических приемов на речной сток. Расчет по методике, изложенной в работе Н.И. Коронкевича (1990), показывает, что современное уменьшение стока Волги под их влиянием можно оценить в 1-1.5%, а Дона – в 4-6%, то есть, по крайней мере, в два раза ниже, чем на уровне 1980-х гг.

Что касается поверхностного склонового стока в теплый период года, то он увеличился в последние годы, особенно на площади занимаемой гидрографической сетью, где складываются благоприятные условия для его формирования, как, впрочем, и для подземного стока. Однако, количественная оценка этого увеличения требует дополнительных исследований.

Влияние на сток урбанизированных ландшафтов

Гидрологическая роль урбанизации рассматривалась в работах В. В. Куприянова (1977), М.И. Львовича (1986), М.И. Львовича, Г.М. Черногаевой (1978), М.И. Львовича, Е.П. Чернышева (1983), Э.М. Лихачевой, В.Б. Смирновой (1994), А.С. Курбатовой (2004), Н.И. Коронкевича. К.С. Мельника (2015). Последняя работа послужила основой для расчетов, содержащихся в данной статье.

В состав урбанизированных территорий входят водонепроницаемые участки (крыши домов, дороги, площади и т.д.) и маловодопроницаемые участки с уплотненной почвой. Поверхностный сток с них, как правило, значительно выше чем с сельскохозяйственных и

тем более лесных угодий. В зимне-весенний период различия в стоке с отдельных угодий меньше чем в теплый период года. Так для бассейна реки Москвы современный зимне-весенний сток с водонепроницаемых урбанизированных участков рассчитан исходя из коэффициента стока 0,8, принятого на основании (СНиП, 1996). Для более ранних периодов коэффициент стока несколько ниже (0,7), учитывая меньшее в прошлом развитие коллекторно-дренажной сети и уборки снега с улиц городов с последующим сбросом его в гидрографическую сеть. Коэффициент стока с маловодопроницаемых участков принят в размере соответственно 0,6 и 0,5. Для сравнения, по данным Н.И. Коронкевича (1990) коэффициент поверхностного склонового стока с зяби в южной части лесной зоны составляет соответственно 0,46 и 0,48, а с полей, не распахиваемых с осени, 0,5.

Поверхностный сток со склонов в летне-осенний сезон на естественных угодьях и сельскохозяйственных полях, согласно А.И. Субботину и В.С. Дыгало (Субботин, 1966, Субботин, Дыгало, 1991), практически отсутствует и имеет место лишь в гидрографической сети. На склонах он формируется почти исключительно на урбанизированных территориях. Величина стока за теплый сезон с урбанизированных площадей определялась на основании рекомендуемых в (Курбатова, 2004, СНиП,1996) следующих коэффициентов стока: с кровли и асфальтобетонных покрытий: 0,6 – 0,7; булыжных или щебёночных мостовых: 0,4 – 0,5; газонов: 0,1; кварталов с современной застройкой – 0,3 – 0,4; средних городов – 0,3 – 0,4; небольших городов и поселков – 0,25 – 0,3. Ориентируясь на эти данные были приняты коэффициенты стока на склонах с водонепроницаемых участков 0,6 для современного периода, 0,5 - для ранних периодов урбанизации, когда почти не было асфальтового покрытия, отсутствовала дренажно-коллекторная сеть, а с малопроницаемых участков - 0,3 и 0,25 соответственно.

С учетом средних многолетних осадков холодного периода года – 170 мм и за теплый период – 537 мм рассчитанные величины современного годового поверхностного склонового стока с водонепроницаемых участков составляют около 460 мм, что в несколько раз выше стока с прочих угодий, за счет главным образом теплого периода года,.

Лишь часть стока со склонов доходит до речной сети, задерживаясь в замкнутых отрицательных формах рельефа и на участках с повышенной инфильтрационной способностью. Тем не менее, значительные различия между вкладом в поверхностный речной сток между урбанизированными участками и прочими угодьями сохраняется.

Полный речной сток также выше на урбанизированных территориях, несмотря на меньший подземный сток. Расчеты показывают, что 1% урбанизированной территории приводит к такому же увеличению речного стока, а 1% водонепроницаемой территории – на 2-3%. Для бассейнов Волги и Дона, урбанизированных на 2-4% и при росте площади урбанизированных участков по сравнению с периодом исчисления нормы стока его современное увеличение оценивается приблизительно на 1%.

Выводы

Поверхностный склоновый сток изменяется в широких пределах в зависимости от вида угодий. На сельскохозяйственных полях значительную гидрологическую роль сыграло широкое распространение зяблевой пахоты, получившее максимальное развитие, как и другие агротехнические приемы, в 1980х гг., что привело к значительному уменьшению поверхностного склонового стока и сказалось на речном стоке. В последующие годы площадь зяблевой пахоты снизилось, но склоновый сток резко уменьшился из-за изменений климатических условий, снизилось и влияние агро-технических мероприятий на речной сток. Напротив, имеется ярко выраженная тенденция увеличения стока в результате роста площади урбанизированных территорий, в том числе

водонепроницаемых участков. В итоге, влияние сельскохозяйственной деятельности на водосборе и урбанизированных ландшафтов в значительной мере взаимокомпенсируется в изменении речного стока.

Работа выполнена при финансовой поддержки гранта РФФИ 18-05-00-479.

Список литературы

Барабанов А.Т., Панов В.И. К вопросу о прогнозе поверхностного стока талых вод в лесостепной и степной зонах // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. № 4 (53). С. 22–27.

Водные ресурсы России и их использование. СПб: ГГИ, 2008, 598 с.

Водогрецкий В.Е. Влияние агролесомелиораций на годовой сток: методика исследований и расчеты. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 184 с.

Грин А.М. Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. М.: Наука, 1963. 148 с.

Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. и др. Современные ресурсы поверхностных и подземных вод европейской части России: Формирование, распределение, использование. М.: ГЕОС, 2015, 320 с.

Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 204 с.

Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.:МАКС ПРЕСС, 2015.168 с.

Куприянов В.В. Гидрологические аспекты урбанизации. Л.: Гидрометеоиздат, 1977, 184 с.

Курбатова А.С. Ландшафтно-экологические основы формирования градостроительных структур. Москва - Смоленск: Маджента, 2004, 400с.

Лихачева Э.А. Смирнова В.Б. Экологические проблемы Москвы за 150 лет. М.: РФФИ, 1994, 248с.

Львович М.И. Человек и воды. М.: Географгиз, 1963. 568 с.

Львович М.И. Вода и жизнь М.: Мысль, 1986, 256 с.

Львович М. И., Черногаева Г.М. Изменение водного баланса территории под влиянием урбанизации//Проблемы гидрологии. М.: Известия АН СССР, 1978, с. 43—52.

Львович М.И. Чернышев Е.П. Закономерности водного баланса и вещественного обмена в условиях города.// Известия АН СССР, серия географ. 1983, №3 с. 23-29.

Петелько А.И., Панов В.И. Характеристика поверхностного стока талых вод с разных угодий за 50 лет // Вестник АПК Ставрополья. 2014. № 4(16). С.155–162.

СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения». Минстрой России. М.: ГУП ЦПП, 1996 г.

Субботин А.И. Сток талых и дождевых вод (по экспериментальным данным), М.: Гидрометеоиздат, 1966, 376 с.

Субботин, А.И., Дыгало В.С. Экспериментальные гидрологические исследования в бассейне реки Москвы. М.: Гидрометеоиздат,1991, 264 с.

Runoff formation from agricultural fields and suburban areas in European part of Russia

Koronkevich N.I., Dolgov S.V., Melnik K.S.
Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, department of hydrology
hydro-igras@yandex.ru

Abstract: Runoff formation from agricultural fields and suburban areas is considered in the article. Runoff from agricultural fields defined by analysis of water balance stations dataset. It is related to the average long-term values of river flow over spring flood – major hydrological regime phase of rivers located in Russian European part. Agricultural fields can be diveded into fall ploughing fields and fields that have not been ploughed since autumn with compacted soil to the beginning of spring flood. Our research study has shown that slope runoff from fall ploughing fields is much lower than runoff from other fields. From north to south the difference in runoff is increasing. Areas of ploughing fields sown with spring crops reached maximum values in 1980e. Their areas decreased next decades, from the period of USSR collapse till currently. Weighted average slope runoff (estimated from different areas) significantly decreased as a result of climate change. The influence of autumn plowing on the river flow has also decreased at the present time. Urbanization area increase is causing the increase surficial runoff as well as total river runoff, especially in the warm season. The performed calculations show, that 1% of urbanization area increase also enhance total river runoff at 1%. Currently, Agrotechnical activities influence as well as ploughing fields impact on the annual river runoff formation is largely compensated by the effect of urbanized areas.

Keywords: runoff, ploughing fields, fields that have not been ploughed since autumn, urbanized areas

Численное моделирование водного стока равнинных рек для блока деятельного слоя моделей Земной системы

***Корпушенков И.А.*[1], *Степаненко В.М.*[2]**
[1]*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва*
[2]*Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва*
korpushenkov.ivan@gmail.com

Аннотация: В составе блока деятельного слоя множества климатических моделей в основном ведётся расчёт почвенной влаги, стока во время снеготаяния, склонового стока, а также динамических процессов в водоёмах. Развитие вычислительной техники (развитие суперкомпьютеров) и, как следствие, увеличение разрешения моделей привело к тому, что наиболее современные модификации климатических моделей – так называемые модели Земной системы требуют всё более детального описания всех процессов, входящих в климатическую систему. К ним относятся и процессы, протекающие в деятельном слое суше, в том числе гидрологические. Мало внимания уделяется описанию динамических процессов, протекающих в поверхностных водотоках. Например, в отечественной климатической модели ИВМ РАН при расчетах процессов поверхностного стекания суммарный водный сток с бассейнов крупнейших мировых рек (таких как Амазонка, Миссисипи, Обь, Лена и т. п.) мгновенно сбрасывается в океан, что не соответствует реальным физическим процессам трансформации стока, протекающим в реальных реках. Авторами предпринята попытка создания одномерной гидродинамической модели для включения её в блок деятельного слоя моделей Земной системы. Для этого используется математический аппарат уравнения кинематической волны с соответствующими допущениями. Его численная реализация представляется с помощью конечной явной центрально-разностной схемы. Такой подход позволяет экономить ограниченные вычислительные мощности, описание соответствует реальным физическим процессам, протекающим в реках, позволяет получать удовлетворительные результаты. Предусмотрена возможность модификации модели для использования аппарата одномерных уравнений мелкой воды (Сен-Венана) и численной схемы до неявной. Главным отличием от аналогов, является возможность включения расчета температуры воды, теплообмена с различными средами, а также протекания биогеохимических процессов.

Ключевые слова: модели земной системы, численное моделирование, одномерная гидродинамическая модель, моделирование стока рек.

Введение

В связи с современными изменениями климата одной из важнейших задач климатологии является проблема прогнозирования изменений климата в ближайшие столетия. Единственный инструмент, который обеспечивает количественную оценку изменений климата в будущем — это численная модель климатической системы. При этом такое математическое (численное) моделирование базируется на иерархии моделей — от глобальных, в основу которых положены совместные модели общей циркуляции атмосферы и океана, до региональных, а также локальных. Климатическая система планеты Земля выделяется как внутренняя система, состоящая из элементов, взаимодействие которых определяет главные особенности климатического режима: атмосферы, океана, суши, криосферы, а также биоты.

Тенденция последних лет — все более точное описание всех физических, участвующих в формировании климата. Это кажется правильным, поскольку для правильного отклика климатической модели на даже самые малые внешние воздействия

необходимо хорошо моделировать не только климат, но и более мелкомасштабные процессы.

Развитие вычислительной математики, а также современных вычислительных средств (например, использование мощных суперкомпьютеров) позволяет сейчас создавать модели климата, включающие всё более мелкомасштабные процессы. На современном этапе развития климатического моделирования начинают создаваться так называемые модели Земной системы.

Термин «Земная система» расширяет понятие «климатическая система» с помощью введения в рассмотрение новых геосфер (например, литосферы, гелиосферы, педосферы и т.д.), кроме того такими моделями описывается более широкий круг физических, биохимических, социальных взаимодействий. Одной из центральных проблем при переходе к моделям Земной системы является моделирование гидрологического цикла суши. Это один из важнейших климатообразующих компонентов, обусловливающий, например, испарение с водных объектов, теплообмен с атмосферой и многое другое. Дальнейшее развитие климатических моделей состоит в том числе в более детальном учете процессов гидрологического цикла суши. Данная работа посвящена учёту речной компоненты для моделей Земной системы (Дымников, 2012).

Методология

В рамках данного исследования авторами работы разработана модель и соответствующий программный комплекс «RIVERFLOW1D». Современные климатические модели, например, последняя версия модели ИВМ РАН (INMCM) или модели Земной системы из-за включения в них множества компонент являются вычислительно трудоёмкими даже для суперкомпьютерных вычислительных систем. Поэтому гидрологические модели должны быть более экономичными в плане количества арифметических операций. Это достижимо в случае использования более простых в математическом смысле моделей – это позволяет существенно сократить время вычислений.

Задача состоит в том, чтобы описать процессы стока воды в русле равнинной реки. В данном случае мы не описываем сток наносов, а также тепловой сток. Авторами предпринята попытка создания гидрологической модели на основе уравнений кинематической волны. Уравнение кинематической волны может быть выведено из системы уравнений Сен-Венана, если сделано допущение о малости инерционных членов в уравнении движения по сравнению с остальными, где корректив кинетической энергии принят $\alpha = 1$ (коэффициент Кориолиса) и корректив количества движения принят $\alpha_0 = 1$ (коэффициент Буссинеска), что для большинства рек допустимо. Уклон дна будем считать постоянным по всей длине участка реки. Форма русла является призматической (в основании призмы, т. е. площади поперечного сечения лежит равнобедренная трапеция.).

В программном коде модель «Riverflow1D» реализована как алгоритм решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Q}{\partial x} + \dfrac{\partial S}{\partial t} = 0 \\ v = \dfrac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{i} \\ h = f^{-1}(S) \end{cases}$$

где Q – расход воды (м^3/с), S – площадь поперечного сечения (м^2), v – скорость течения (м/с), R – гидравлический радиус (м), i – геометрический уклон, h – глубина (м), f – функция, связывающая между собой значения площади S и глубины потока h. Последнее уравнение добавлено для того, чтобы система была замкнута. Для решения данной системы уравнений необходимо задать одно начальное – $h(x,0)$, и одно граничное – $Q(0,t)$ условия.

Аппроксимация пространственных производных выполнена на сдвинутой сетке. Значения площади поперечного сечения *S*, уровня воды *h* рассчитываются в дробных узлах сетки. Скорость течения реки (средняя скорость для данного створа) рассчитывается в целых узлах.

В виде конечно-разностного алгебраического уравнения система представляется следующим образом:

$$\frac{S_{j+1/2}^{i+1} - S_{j+1/2}^{i}}{\Delta t} + \frac{(Su)_{j+1}^{i} - (Su)_{j}^{i}}{\Delta x} = 0$$

$$u_{j+1}^{i} = \frac{1}{n_{j+1}} \left(\frac{R_{j+1/2} + R_{j+3/2}}{2} \right)^{2/3} \sqrt{i_{j+1}}$$

В данном случае принимается классическая для вычислительной математики индексация узлов разностной сетки: верхние индексы – шаг по времени, нижние – шаг по координате x. Данные уравнения реализованы в виде программного кода.

Результаты

Авторами были проведены численные эксперименты для проверки модели на корректность счёта. В первом случае, моделировался водный сток в трапецеидальном русле, при условии, что уровень воды *h(x,0)* был одинаковым на всём протяжении, в данном случае *h(x,0)* = 4 м. Кроме того, в качестве граничных условий был выбран также одинаковый во все моменты времени расход воды *Q(0, t)* = 39.5 ($м^3/с$). Начальные и граничные условия были согласованы. Моделировался внутрисуточный ход расхода воды. Результаты эксперимента сравнивались с коммерческой гидрологической моделью «MIKE11» Датского гидрологического института. Во втором случае, эксперимент проводился с целью проверки устойчивости схемы на разных шагах по времени. В данном случае, на верхнем створе подавался периодический по времени расход. Из вычислительной математики известно, что явная численная схема является устойчивой в том случае, если она удовлетворяет критерию Куранта ($udt/dx < 1$). Одинаковые результаты должны получаться при различных шагах по времени.

Верификация модели проводилась для рек бассейна Северной Двины. Для р. Северная Двина в створе д. Абрамково имеем следующий характер хода расходов воды в период с начала весеннего половодья (конец апреля – начало мая) до даты (ноябрь) установления ледостава, поскольку из-за ограничений расчет модели при ледовом покрове на данный момент отсутствует.

Во время межени фактические и смоделированные расходы практически совпадают. В половодье наблюдается расхождение: фактические расходы больше, чем смоделированные. Это объясняется тем, что модель не учитывает боковой приток непосредственно с водосбора: таяние снега в половодье и приток талых вод данной моделью не рассчитываются – из-за этого не учитывается большой объем воды, что и отражено на графиках. Аналогично для паводков: осадки, выпавшие на водосбор и стекающие как боковой приток моделью, не учитываются.

На данном этапе модель усовершенствована и теперь расчёт ведётся для всех рек земного шара: Поверхность Земли покрыта равномерной сеткой с размерами ячейки 2°x1.5°. Информация о русле, а также о направлениях стока рек считывается с цифровой модели рельефа, стекание из ячейки в ячейку (трансформация стока) осуществляется по методу наибольшего градиента (D8).

Направления дальнейшей модификации модели связаны с переводом её на неявную конечно-разностную схему Мак-Кормака, усовершенствованием механизма стекания с использованием алгоритма, разработанным профессором Ямазаки (D. Yamazaki) в Токийском университете, а также включением в алгоритм расчета температуры воды.

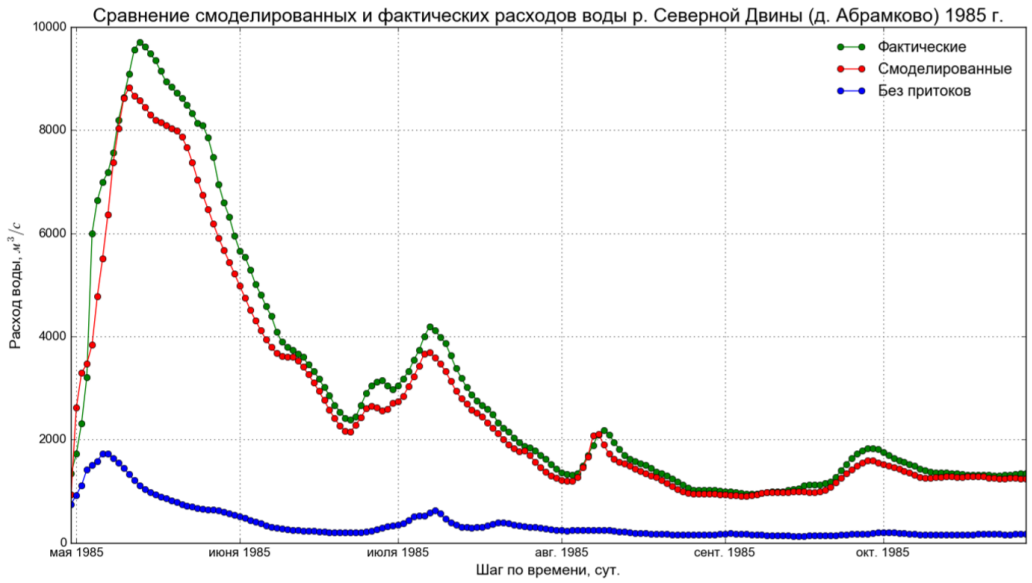


Рис. 1. Ход фактических и смоделированных расходов воды р. Северная Двина (створ д. Абрамково)

Список литературы

Дымников В. П., Лыкосов В. Н., Володин Е. М. Моделирование климата и его изменений: современные проблемы // Вестник Российской академии наук, 2012, том 82, №3, с. 227-236

Numerical modeling of the water flow of plain rivers for the block of the land surface model of Earth System Models (ESM)

***Korpushenkov I.A.*[1], *Stepanenko V.M.*[2]**
[1]*Lomonosov Moscow State University*
[2]*Research Computing Centre of Lomonosov Moscow State University (RCC MSU)*
korpushenkov.ivan@gmail.com

Abstract: As a part of the block of the active layer of many climatic models, the calculation of soil moisture, runoff during snow melting, slope flow, and dynamic processes in reservoirs is carried out. The development of computer technology (in particular the development of supercomputers) and, as a result, an increase in the resolution of models has led to the fact that the most modern modifications of climate models - the so-called Earth system models (ESM) require an increasingly detailed description of all processes entering the climate system. These include processes occurring in the active layer of the land, including hydrological ones. Little attention is paid to the description of the dynamic processes occurring in surface watercourses. So the authors attempted to create a one-dimensional hydrodynamic model for inclusion in the block of the active layer of models of the Earth's system. To do this, we use the mathematical apparatus of the kinematic wave equation with the corresponding assumptions. Its numerical realization is represented by a finite explicit central-difference scheme. The main difference from analogues is the possibility of including the calculation of water temperature, heat exchange with various media, as well as the flow of biogeochemical processes.

Keywords: earth system model, numerical modeling, 1D-model, river modeling, river runoff

Модельные оценки климатообусловленных изменений характеристик стока р. Западной Двины

***Курочкина Л.С.*[1], Журавлев С.А.[1], Данилович И.С[2], Квач Е.Г.[3]**
[1]*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Институт природопользования НАН РБ, Минск, Беларусь*
[3]*Белгидромет, Минск, Беларусь*
plathanthera@gmail.com

Аннотация: В данной работе представлены результаты модельных оценок ожидаемых изменений стока реки Западной Двины в XXI веке, полученных с использованием метода дельт для сезонных величин температуры воздуха и осадков, рассчитанных по ансамблю глобальных и региональных климатических моделей, предоставленных консорциумом EURO-CORDEX. Помимо этого, была выполнена оценка уже произошедших изменений стока для объекта исследования. Сравнительный анализ, проведенный для оценок фактических и ожидаемых изменений стока реки Западной Двины, позволяет сделать вывод о том, что среднегодовой сток за последние десятилетия варьировался в пределах своей нормы без значимого тренда. Такая тенденция сохранится и в будущем. Главные изменения коснулись внутригодового распределения стока. В настоящее время отмечается устойчивый тренд к увеличению стока зимних месяцев и к его уменьшению весной. Согласно выполненным модельным оценкам ожидаемых изменений внутригодового распределения стока в будущем эта тенденция будет только усиливаться. Было установлено, что возможные изменения максимальных расходов воды сопоставимы с их изменчивостью (0,5<SNR<0,9). Ожидаемые изменения годового и минимального стока значительно меньше внутримодельной изменчивости.

Ключевые слова: изменения характеристик речного стока, Западная Двина, трансграничный водосбор, изменения климата, гидрологическое моделирование, вероятностный прогноз

Введение

За последние десятилетия в пределах бассейна Балтийского моря отмечались значительные изменения речного стока и его внутригодового распределения, связанные с потеплением климата. На территории Республики Беларусь устойчивое потепление, которое продолжается и в настоящее время, началось с аномально теплого 1989 года (Комаровская, 2009). На фоне потепления происходило увеличение годовых сумм атмосферных осадков. Причем наибольшие изменения отмечаются на территории бассейна р. Западной Двины (Partasenok, 2014).

Ряд исследований, проведенный белорусскими коллегами, убедительно показывает, что произошедшие изменения климата уже привели к существенным изменениям водного режима р. Западной Двины. Эти изменения проявляются в увеличении доли зимнего и летне-осеннего минимального стока и уменьшении доли весеннего стока, при этом градиент изменения зимнего стока больше, чем летне-осеннего (Грядунова, 2005).

Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных региональным вопросам изменений характеристик речного стока, сохраняется потребность в подробных исследованиях, нацеленных на выявление причин этих изменений и их прогнозов на долговременную перспективу. В данной работе представлены результаты модельных оценок ожидаемых изменений стока реки Западной Двины в XXI веке.

Материалы и методы

В качестве исходных данных для оценки изменений стока использовались материалы гидрологических наблюдений на посту на реке Западной Двине – г. Витебск за 1945-2014

гг., находящийся в ведомстве Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Беларуси. Расчеты значимости и величины трендов проводились согласно тестам Сена и Манна-Кендалла (Sen, 1968; Mann, 1945)

Моделирование стока проводилось с помощью модели «Гидрограф», разработанной в Государственном гидрологическом институте под руководством Ю.Б. Виноградова (Vinogradov et al., 2011)

Анализ будущих изменений климата выполнен на основе данных климатического моделирования консорциума EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment for Europe) по узлам сетки, входящих в национальные границы Беларуси. В своих расчетах EURO-CORDEX использует репрезентативные траектории концентраций (сценарии концентраций) парниковых газов семейства RCP. В настоящей работе представлены расчеты по RCP4.5 и RCP8.5. Пространственное разрешение данных составляет 0,44° (~50 км). В качестве обобщающей величины по ансамблю глобальных и региональных моделей (10-12 для каждого эксперимента) использована медиана.

Проекции метеорологических и гидрологических характеристик выполнены по последовательным десятилетиям: 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070, 2071-2080, 2081-2090, 2091-2100 гг.

Результаты и обсуждение

Оценка фактических изменений

Для створа р. Западная Двина – г. Витебск было установлено наличие значимого отрицательного тренда для следующих характеристик речного стока: максимальный срочный (-4,6%/10 лет) и суточный (-4,5%/10 лет) расходы воды. Значимая тенденция на увеличение отмечается для значений минимального расхода воды зимней межени (10%/10 лет). Тенденция на незначительное увеличение выявлена для значений слоя стока (0,2%/10 лет) и продолжительности (0,1 дн./10 лет) весеннего половодья, а также для значений среднегодовых расходов воды (2%/10 лет), однако этот тренд не является статистически значимым при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Изменения отсутствуют для значений минимальных расходов воды летне-осенней межени.

Анализ, проведенный для значений среднемесячных расходов воды за период 1945-2014 гг, показал наличие значимого положительного тренда для декабря (6%/10 лет), января (9,9%/10 лет), февраля (9,3%/10 лет) и марта (8,3%/10 лет). Для среднемесячных расходов воды апреля (-4,3%) и мая (-0,6%) – тренд незначимый и отрицательный. Остальные месяцы характеризуются отсутствием значимых трендов.

Ожидаемые изменения климата

Согласно выполненным расчетам (таблица 1) среднегодовые значения температуры воздуха предположительно будут постепенно увеличиваться в течение рассматриваемого периода до 2,4°C при реализации сценария RCP4.5 и до 4,7°C при RCP8.5. Отклонения сезонных значений температуры воздуха ожидаются преимущественно положительными и характеризуются постепенным ростом: в зимний сезон отклонения к концу столетия предположительно увеличатся до 2,8 и 6,0°C (для RCP4.5 и RCP8.5 соответственно), в весенний сезон отклонения по величине ожидаются ниже, чем в зимний сезон и к концу столетия могут составить 2,3 и 4,5°C (для RCP4.5 и RCP8.5 соответственно). Летний и осенний сезоны характеризуется более низкими значениями отклонений в пределах 2,0-4,0°C к концу столетия, осенний сезон характеризуются наименьшими значениями отклонений в течение рассматриваемого периода. В зимний сезон ожидается согласованное сокращение числа дней с нулевой температурой, в летний сезон - значительное увеличение теплых дней.

Средние значения годовых сумм осадков согласно расчетам будут колебаться к концу рассматриваемого периода в пределах 15-30 мм без резких межпериодных колебаний.

Распределение отклонений сумм осадков по сезонам характеризуется наибольшими значениями в зимний и весенний периоды. В зимний сезон при реализации сценария RCP4.5 в период 2031-2100 гг ожидаются устойчивые во времени отклонения сезонных сумм осадков в пределах 20-28 мм. Для сценария RCP8.5 характерно последовательное по расчетным десятилетиям увеличение сезонных сумм осадков от 8 мм (2021-2030 гг) до 50 мм к концу столетия. Сезонные отклонения ожидаются практически на таком же уровне как в весенний период. Для сценария RCP4.5 их величина предположительно составит 15-31 мм, при сценарии RCP8.5 предполагается последовательный рост от 14 до 50 мм (2081-2090 гг).

Осадки теплого периода по обоим сценариям радиационного воздействия (RCP4.5 и RCP8.5) прогнозируются с большой неопределенностью. Согласно расчетам определить дальнейшую динамику отклонений сезонных осадков летом и осенью не представляется возможным и можно лишь предположить о вариациях в пределах нормы сезонных значений.

Ожидаемые изменения стока

Решение о пригодности разработанной модели для оценки ожидаемых изменений стока принималось в зависимости от значений критериев NSE и BIAS. Были получены следующие значения критериев NSE и BIAS соответственно: 0,79 и 9,7% для периода 1970-2013 гг. Результаты моделирования можно считать удовлетворительными согласно критериям, предложенным в работе Moriasi и соавторов (Moriasi et al., 2015). Высокое качество моделирования объясняется как относительной однородностью условий формирования стока, так и сравнительно плотной сетью метеорологических наблюдений.

Расчеты ожидаемых изменений характеристик стока р. Западной Двины у г. Витебска проводились по десятилетиям с 2021 по 2100 годы и сравнивались с нормой стока, рассчитанной за базовый период с 1970 по 2000 годы. Для значений среднегодовых расходов воды было установлено, что ожидается их незначительное увеличение по сравнению с нормой в среднем за период с 2021-2100 гг на 8% для сценария RCP4.5 и на 12% для сценария RCP8.5 без четкого тренда по десятилетиям. Таким образом, годовой сток, как и в последние десятилетия, предположительно будет варьироваться в пределах своей нормы.

Табл. 1 Ожидаемые изменения сезонных величин температуры воздуха и осадков (Партасенок и Гайер, 2015)

Сценарий\сезон		Зима		Весна		Лето		Осень	
		ΔT,°C	ΔP,мм	ΔT,°C	ΔP,мм	ΔT,°C	ΔP,мм	ΔT,°C	ΔP,мм
RCP4.5	мин	1,5	14	0,9	15	1,1	-11	0,9	-2
	медиана	2,6	20	1,9	21	1,6	-4	1,3	9
	макс	3,5	28	2,6	31	2,0	2	2,2	21
RCP8.5	мин	1,8	7	1,4	14	0,8	-9	1,5	6
	медиана	3,6	26	2,6	29	2,2	1	2,7	15
	макс	6,1	51	4,5	50	4,0	18	4,4	28

На рисунке 1 приведены результаты расчетов ожидаемых изменений внутригодового распределения стока р. Западной Двины у г. Витебск для сценария радиационного воздействия RCP8.5. Полученные результаты показывают, что текущая тенденция, проявляющаяся в увеличении стока в зимний период и уменьшении его в весенний, сохранится и в будущем.

Максимальные расходы воды весеннего половодья оказались ниже нормы (в среднем на 21% для RCP4.5 и 24% для RCP8.5). Как и для среднегодового стока, тренда по десятилетиям не обнаружено.

Минимальный сток зимней межени ожидается выше нормы в среднем на 16% и 20% для сценариев RCP4.5 и RCP8.5 соответственно. Несмотря на существенные ожидаемые изменения метеопараметров по десятилетиям за период 2021-2100 гг, тренд также не выявлен.

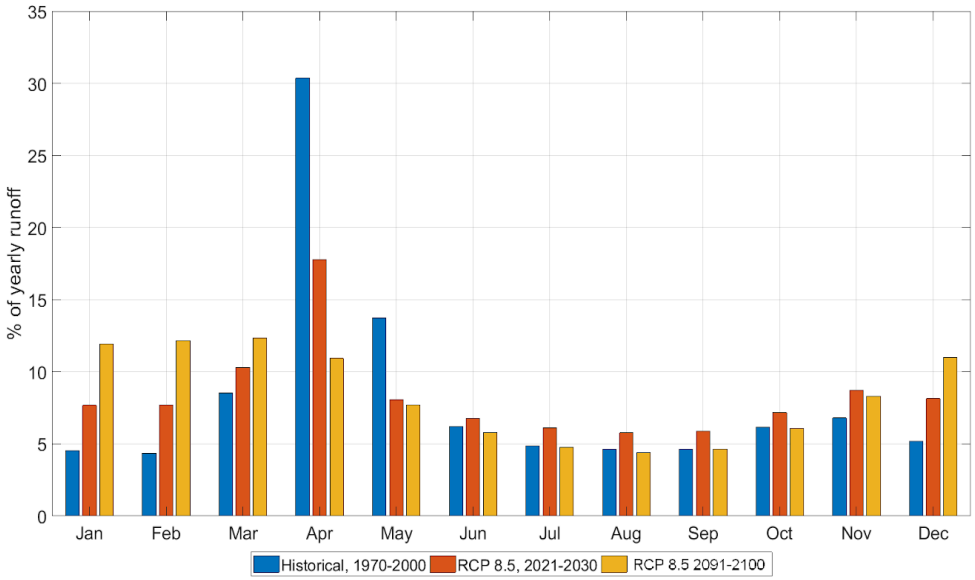


Рис. 1 Ожидаемые изменения внутригодового распределения стока (в % от годового стока) р. Западной Двины (у г. Витебск) для базового периода (1970-2000 гг) и при реализации сценария RCP8.5 для 2021-2030 гг и 2091-2100 гг

Оценка неопределенностей моделирования

Для оценки значимости климатообусловленных изменений стока по отношению к его естественным колебаниям использовался критерий SNR. Было установлено, что возможные изменения максимальных расходов воды сопоставимы с их изменчивостью (0.5<SNR<0,9). Ожидаемые изменения годового и минимального стока значительно меньше внутримодельной изменчивости.

В ряде исследований было показано, что современные климатические изменения сопровождаются изменением продолжительности засушливых периодов, в частности, вследствие изменения частоты появления блокирующих антициклонов. Следует особо отметить, что DC-метод, использованный в данной работе, не предполагает возможности учета изменения временной структуры осадков, что повышает неопределенность в оценках возможных изменений минимального стока.

Работа российских авторов выполнена при поддержке гранта РГО-РФФИ 17-05-41118 РГО_а, белорусских – в рамках НИР № гос. регистрации 20171430.

Список литературы

Комаровская Е.В., Кулешова И.Ю. Температура воздуха. [Раздел книги] // Гидрологический мониторинг Республики Беларусь / под ред. А.И. Полищука, Г.С. Чекана. - Минск : Кнігазбор, 2009. - 260 с.

Partasenok, I.S. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus / I.S. Partasenok, P. Ya. Groisman, R.S. Chekan, and V. I. Melnik // Environ. Res. Lett. - 2014, N 09005. – 13p. Sen P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. — J. Amer. Statistical Association, 1968, vol. 63, No. 324, pp. 1379—1389.

Грядунова О.И. Минимальный сток р. Западная Двина / О.И. Грядунова // Экологические проблемы природно-технических комплексов: тезисы докладов II Международного экологического симпозиума в городе Полоцке, Полоцк, 3–4 сентября 2005 г. / Полоцк. гос. ун-т; редкол.: В.Ф. Логинов [и др.]. – Полоцк, 2005. – Т. 1. – С. 98–99.

Партасенок И.С., Гайер Б. Исследования возможных сценариев изменений климата Беларуси на базе ансамблевого подхода. Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра российской федерации, № 358 (2015). М.: Гидромет. науч.-исслед. центр РФ. С. 99-111.

Mann H. B. Nonparametric tests against trend. — Econometrica, 1945, No. 13, pp. 245—259.

Moriasi, Daniel N., et al. "Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria." Transactions of the ASABE 58.6 (2015): 1763-1785.

Vinogradov, Yu B., O. M. Semenova, and T. A. Vinogradova. "An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system." Hydrological processes 25.7 (2011): 1055-1073.

Model estimates of climate-related streamflow changes in the Western Dvina river basin

***Kurochkina L.S.*[1], Zhuravlev S.A.[1], Danilovich I.S.[2], Kvach E.G.[3]**

[1]*State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia*

[2]*Institute for Nature Management, National Academy of Science, Minsk, Belarus*

[3]*Belgidromet, Minsk, Belarus*

plathanthera@gmail.com

Abstract: This paper presents the results of model estimates for the expected changes in the streamflow of the Western Dvina River in the 21st century, obtained using the delta method for seasonal air and precipitation values computed from the ensemble of global and regional climate models provided by the EURO-CORDEX project. In addition, the assessment was carried out for the existing changes in the streamflow for the case study.

A comparative analysis of actual and expected changes in the Western Dvina streamflow allows us to conclude that the average runoff over the past decades has varied within normal flow limits without a significant trend. This tendency will continue in the future. Main changes have affected the inter-annual distribution of the streamflow. Currently, there is a steady upward trend in the low flow and downward trend in the spring flow. According to estimates of the expected changes in streamflow, this tendency will intensify in the future.

It was found out that possible changes in the maximum water discharges are comparable to their variability (0.5<SNR<0.9). The expected changes in the average and minimum runoff are much less than the intramodel variability.

Keywords: changes in the river flow characteristics, Western Dvina, transboundary catchment area, climate change, hydrological modeling, probabilistic forecast

The work of Russian authors was supported by grant "RGS-RFBR, project № 17-05-41118", Belarusian authors - in the framework of the research project № 20171430.

Возможности и ограничения одномерной и двумерной профильной гидродинамических моделей при расчете распространения осолоненных вод в приливных устьевых областях

***Лебедева С.В.*[1], Панченко Е.Д.[2], Аракельянц А.Д.[2]**
[1]*Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва*
[2]*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*
hydrosima@gmail.com

Аннотация: В работе рассматривается задача расчета распространения осолоненных вод в устьевые участки рек в условиях приливов методами численного гидродинамического моделирования. Одномерная гидродинамическая модель на базе программного комплекса MIKE 11 применена к устью реки Кянды, где осолоненные воды проникают в устьевой участок реки в условиях полного перемешивания. Двумерная профильная гидродинамическая модель на базе программного комплекса CE-QUAL W2 используется для расчета распространения клина осолоненных вод в протоке Маймаксе дельты Северной Двины. Обе модели используют для расчета гидродинамический блок и блок распространения неконсервативных примесей на основе уравнения адвекции-диссперсии. Итогами работы на данном этапе стали: во-первых, адекватный результат расчета режима солености в реке Кянде, полученный на одномерной модели, во-вторых, необходимость продолжения тестовых расчетов распространения клина осолоненных вод по руслу протоки Маймаксы на профильной модели и сопоставления результатов расчетов с наблюденными скоростями течения и соленостью воды. Показано влияние коэффициента шероховатости на придонные скорости течения и скорость распространения клина осолоненных вод по дну. Сопоставлены формы эпюр скоростей течения и солености, полученные в результате задания разных моделей турбулентности для расчета коэффициентов вертикальной турбулентной вязкости и вертикальной дисперсии.

Ключевые слова: устьевая область, прилив, проникновение осолоненных вод, компьютерное моделирование, Северная Двина, Кянда

Введение

Задачи, связанные со смешением речных и морских вод, являются важнейшими в гидрологических исследованиях устьевых процессов. Тема расчетов проникновения осолоненных вод в устьевой участок реки не перестает быть актуальной и не исчерпывает себя много лет в виду ее сложности и большой практической значимости. Интрузия (проникновение) осолоненных вод может создавать угрозу водным экосистемам и бесперебойному водоснабжению населенных пунктов и промышленных объектов так, как это регулярно происходит, например, в городе Архангельске, расположенном в дельте Северной Двины. Давно рзработаны упрощенные формулы распространения осолоненных вод в устья рек (Лупачев, 1976). В 70-е и 80-е для решения таких задач для устьев начали широко использовать численное моделирование (Иванов, Святский, 1987). Однако, сегодня существуют значительные трудности с заданием адекватных и актуальных граничных условий и входных данных, с подбором параметров для моделей, а также существует нехватка сопоставлений результатов расчетов на моделях с фактическими данными достаточного объема и качества.

Процессы смешения и проникновения осолоненных вод вглубь устьевой области происходит под влиянием речного стока, приливов, ветровых нагонов и сгонов, ветрового волнения, трения о дно и морфометрии устьевой области. В зависимости от набора и

сочетания этих условий, реализуются разные формы распространения осолоненных вод в устьевые участки рек. Дальность проникновения осолоненых вод в устьевом участке реки с полным перемешиванием может быть описана одномерной моделью. Для ситуаций, когда осолоненные воды распространяются в виде выраженного клина, используют трехмерные или двумерные профильные модели.

Авторами проведена работа по созданию и настройке по полевым данным гидродинамических моделей приливных участков ряда рек Белого моря, и достигнуты адекватные результаты соответствия временного хода наблюденных и рассчитанных характеристик динамики потока в течение приливного цикла (Панченко, 2017, Лебедева, 2016). Сейчас идет этап апробации тестовых вариантов моделей с учетом солёности и смешения речных и морских вод и проведение сценарных расчетов для оценки чувствительности модели к разным входным данным и параметрам.

Цель текущей работы – оценить возможности и ограничения двух вариантов гидродинамических моделей (одномерной и двумерной профильной) при расчете распространения осолоненных вод в приливной устьевой области.

Задачи: подготовка моделей распространения соленых вод для устьевого участка реки Кянды и участка протоки Маймаксы дельты Северной Двины, проведение тестовых расчетов с оценкой чувствительности входных данных и параметров, сравнение получаемых результатов с имеющимися фактическими данными о характеристиках динамики потока и солености.

В рамках данной работы используются два программных комплекса: CE-QUAL W2 и MIKE 11.

MIKE 11 – датский программный комплекс, включающий одномерную модель динамики потока, а для расчета распространения консервативных примесей использующий уравнение адвекции-дисперсии в следующем виде (MIKE 11 ..., 2015):

$$\frac{\partial AC}{\partial t}+\frac{\partial QC}{\partial x}-\frac{\partial}{\partial x}(AD\frac{\partial C}{\partial x})=0,$$

где A – площадь поперечного сечения, C - осредненная по поперечному сечению концентрация примеси, г/м3, D – коэффициент дисперсии, осредненный по площади поперечного сечения и единый для всей области моделирования, м2/с. Коэффициент дисперсии определяется как функция скорости течения через переменные параметры a и b:

$$D=av^b$$

CE-QUAL W2 – двумерная профильная модель для расчетов гидродинамики и качества воды, созданная и развивающаяся в Потсдамском университете (США). Эта модель применялась для участков рек, озер, водохранилищ, эстуариев. Уравнение переноса консервативных примесей, то есть уравнение адвекции-дисперсии, в этой модели выглядит так (Cole, Wells, 2015):

$$\frac{\partial BC}{\partial t}+\frac{\partial UBC}{\partial x}+\frac{\partial WBC}{\partial z}-\frac{\partial(BD_x\frac{\partial C}{\partial x})}{\partial x}-\frac{\partial(BD_z\frac{\partial C}{\partial z})}{\partial z}=0,$$

где C - осредненная по ширине потока концентрация примеси, г/м3, U и W – продольная и вертикальная составляющие скорости течения, м/с, Dx - коэффициент продольной (горизонтальной) дисперсии температуры воды и концентрации примеси, $м^2/с$, Dz - коэффициент вертикальной дисперсии температуры воды и концентрации примеси, $м^2/с$.

Dx – параметр, которые задается пользователем напрямую, а Dz – определяется внутри расчетного блока модели через коэффициент вертикальной турбулентной вязкости Az

$$D_z=0{,}14A_z$$

Для расчета Az в процессе задания параметров модели производится выбор из ряда гипотез турбулентности с соответствующими формулами расчета коэффициента турбулентной диффузии.

Из общих представлений и по виду уравнений видно, что распространения консервативной примеси в большой степени зависит от скоростей течения. Для моделирования выбраны объекты, в которых с участием авторов в последние годы проводились полевые наблюдения за параметрами динамики потока и соленостью (Алабян и др., 2017; Панченко, 2017), а также уже были построены и откалиброваны ряд гидродинамических моделей без учета распространения осолоненных вод (Панченко и др., 2017, Лебедева, 2016).

Принятая последовательность действий при создании и работе с моделью, соответствует описанной методике (Лебедева, Алабян, 2016). В первую очередь, создается тестовая версии модели и производится оценка чувствительности модели к различным входным данным и параметрам. По результатам первого этапа работы формулируется и уточняется план будущих полевых работ. И только в процессе постоянного соотнесения результатов моделирования с фактическими данными возможно развитие модели, как инструмента для расчета характеристик динамики потока и солености воды.

Объекты моделирования и результаты

Река Кянда – малая река, впадающая в Онежский залив Белого моря. Устьевая область реки Кянда мезоприливная с величиной приливов до 2,5 м. Для моделирования используются данные измерений уровней воды, уклонов водной поверхности, скоростей течения и расходов воды в течение полного приливного цикла, проведенных с участием авторов летом 2016. Кроме того, используются наблюдения за соленостью в течение приливного цикла на протяжении всего рассматриваемого участка. Из этих данных видно, что осолоненные воды распространяются на устьевом участке р. Кянды в условиях полного перемешивания приливного потока с речными водами.

Одномерная гидродинамическая модель устьевого участка реки Кянды откалибрована на полевых данных, и работа по ее настройке представлена в другой статье настоящего сборника (Панченко Е.Д. Особенности неустановившегося движения в условиях приливов на примере малой реки Кянды). Получены адекватные результаты сопоставления смоделированных и наблюденных режимов скоростей течения в течение приливного цикла и дальности проникновения приливных колебаний уровня воды. Подключение блока адвекции-дисперсии для расчета проникновения осолоненных вод, который основан на выше представленном уравнении адвекции-диссперсии, показало наилучшие результаты при a=70, b=0, то есть при постоянном коэффициенте дисперсии D, равном 70 м2/с (рисунок 1а). Дальность проникновения осолоненных вод (изогалины 1 psu), соответствующая измеренной в заданных гидрологических условиях, это около 4,1 км. При варьировании D от 0 до 100 м2/с увеличивается величина максимальной солености в прилив (с 10,9 до 12,1 psu) и время стояния осолоненных вод в одном и том же створе в нижней части устьевого участка, но уменьшается дальность распространения осолоненных вод (с 5,4 до 3,5 км от устьевого створа) (рисунок 1б).

Рассмотренный участок протоки Маймаксы расположен в верхней части дельты Северной Двины. Длина участка 13 км. Устьевая область Северной Двины – микроприливное устье с величиной приливов от 0,8 до 1,5 м. Проникновение осолоненных вод сюда происходит регулярно в низкую межень во время прилива. Распространение морских вод в Маймаксе происходит в виде хорошо выраженного клина осолоненных вод, который распространяется по дну вверх по течению во время прилива. В случае особенно сильных маловодий соленая вода задерживается на дне в дельтовых рукавах на полный приливный цикл, не уходя в отлив.

Построенная профильная модель состоит 34 отсеков по длине участка. Ширина каждого отсека от 300 до 500 м. Мощность расчетной ячейки по вертикали везде одинаковая и равна 0,5 м. Технические ограничения модели при задании граничных условий пока не позволили задать ход измеренных расходов на верхней границе так, чтобы в расчетный участок втекала вода на отливе и вытекала на приливе (отрицательные расходы). Сложная русловая сеть дельты не позволяет отодвинуть границу модели вверх

по течению так, чтобы расходы на верхней границе могли быть заданы постоянными и положительными, как рекомендуется делать авторами модельного комплекса для приливных эстуариев. Тем не менее, в сценарных условиях режима расходов воды на верхней границе и солености на нижней границе участка проведены серии тестовых расчетов для анализа чувствительности модели к различным параметрам и для оценки их вклада в результаты расчетов скорости течения и режима солености в течение приливного цикла.

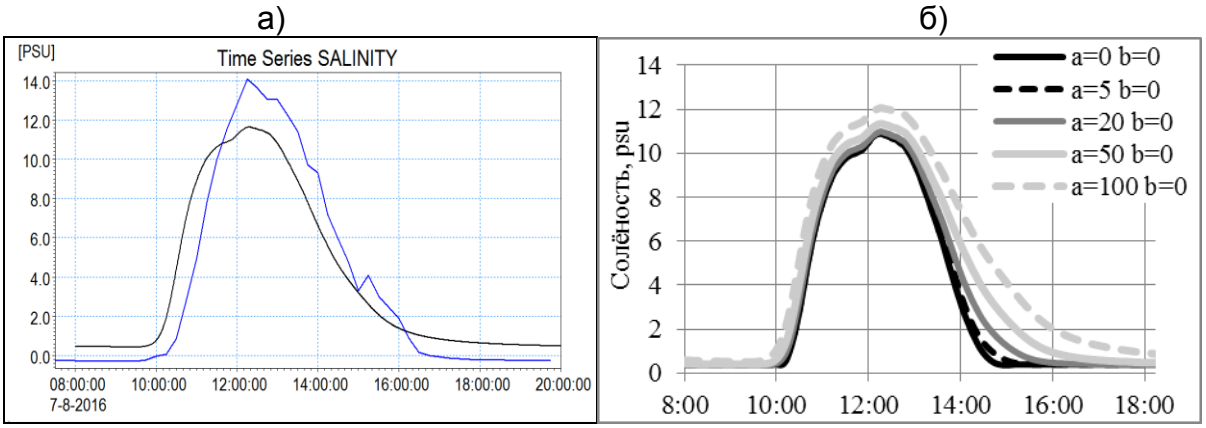


Рис. 1 Результаты расчета солености в 3 км от устьевого створа р. Кянды одномерной моделью в MIKE 11 а) сопоставление расчетных (черный цвет) и фактических (синий цвет) данных, б) расчетные графики солености при разных значениях параметра а

Изменения коэффициента шероховатости (число Маннинга) в диапазоне от 0,01 до 0,04 м/с^2 показали его влияние на средние скорости потока, однако гораздо более знчимый отклик на его изменение показала формы эпюры скоростей и придонные скорости течения. Это приводит к значительному влиянию на распространение клина осолоненных вод по дну и дальность его проникновения во время прилива.

Влияние параметра горизонтальной турбулентной вязкости на скорости течения и режим солености практически не было выявлено. Однако большие величины коэффициента горизонтальной дисперсии привели к увеличению однородности распределения солености по вертикальному профилю, в результате чего уменьшается дальность проникновения осолоненных вод. Также было выявлено небольшое влияние коэффициента горизонтальной дисперсии на профиль скорости течения. Вероятно, это связано с изменениями градиента плотности из-за выравнивания профиля солености.

Разные формулы расчета коэффициента вертикальной турбулентной вязкости Az приводят к разной форме расчетной эпюры скоростей. Наиболее однородное распределение скоростей течения по вертикали достигается с использованием формулы k-ε модели турбулентности. Теория турбулентности, наиболее близко воспроизводящая реальную форму эпюры скоростей течения может быть выбрана в соответствии с результатами анализа эпюр, построенных по результатам полевых наблюдений, что планируется реализовать после достижения возможности задания реальных условий на границах.

Выводы

По результатам расчетов распространения осолоненных вод в устье р. Кянды одномерная модель показала возможности адекватно рассчитывать режим солености и дальность проникновении осолоненных вод в устьевой участок реки в течение приливного цикла в условиях полного перемешивания.

Профильная гидродинамическая модель дает возможность проанализировать вертикальную структуру потока и рассчитывать распространение осолоненных вод в случае их распространения в виде ярко выраженного клина с большими градиентами солености, как это происходит в протоке Маймаксе. Однако, наличие нескольких неизвестных настраиваемых (калибруемых) коэффициентов создает сложности для

моделирования. Чем больше калибруемых параметров, которые похожим образом влияют на расчеты, тем труднее, найти единственный, наиболее подходящий набор значений для них. Задачи дальнейшей работы – это оценка возможных ошибок при неучете или неправильной калибровке каждого из параметров и разработка соответствующей методики калибровки. Вклад каждого из параметров должен быть описан и оценен количественно.

Список литературы

Алабян А.М., Алексеева А.А., Демиденко Н.А., Лебедева С.В., Одоев Л.С., Панченко Е.Д., Попрядухин А.А. Полевые гидрологические исследования в дельте Северной Двины летом 2016 и 2017 гг. // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. ИО РАН Москва, 2017. С. 151–154

Иванов В.В., Святский А.З. Численное моделирование вторжения морских вод в устья рек в сезонном временном масштабе // Водные ресурсы, 1987. № 5. С. 116–122.

Лебедева С.В. Динамика потока в многорукавном приливном устье крупной реки (на примере р. Северная Двина), дисс… канд. геогр. наук, МГУ, 2016. 211 с.

Лебедева С. В., Алабян А. М. Методика исследования динамики потока в устьевых областях крупных рек и ее реализация для устья Северной Двины // Международная научно-практическая конференция "Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии" памяти выдающегося русского учёного Ю.Б. Виноградова (18-22 ноября 2015 г., Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия). — Санкт-Петербургский государственный университет Санкт-Петербург, 2015. С. 337–341.

Лупачев Ю.В. Особенности проникновения соленой воды в приливное устье реки // Труды ГОИН, 1976. Вып. 129. С. 37-52.

Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС, 1997а. 176 с.

Панченко Е. Д. Гидродинамика устьевой области реки Кянда (Беломорский бассейн) в летнюю и зимнюю межень 2016 и 2017 гг. // Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU – 2017)". Москва, 2017. С. 734–738.

Панченко Е. Д., Алексеева А. А., Мелин А. М. Проблемы использования одномерных гидродинамических моделей для устьевых областей малых рек // Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU – 2017)". Москва, 2017. С. 674–675.

Cole T.M., Wells S.A. CE-QUAL W2: A Two-Dimensional Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, version 3.72. Portland: Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, 2015. 797 p.

MIKE11 D.H.I. A Modelling System for Rivers and Channels—Reference Manual //DHI: Hørsholm, Denmark, 2015.

1D and 2D hydrodynamic models of salinity intrusions in tidal estuaries: capabilities and limitations

***Lebedeva S.V.*[1], Panchenko E.D.[2], Arakelyants A.D.[2]**
[1] *Zubov State Oceanographic Institute, Moscow*
[2]*Moscow State University, Moscow*
hydrosima@gmail.com

Abstract: This paper discusses simulations of salinity intrusions in tidal estuaries. We apply a one-dimensional laterally and longitudinally averaged model (MIKE 11) for the Kyanda estuarine where intruding saline water fully mixes with fresh river water. Meanwhile, a two-dimensional laterally averaged model (CE-QUAL W2) was used to simulate the dynamics of a salt-wedge estuary: the Maymaksa branch of the Northern Dvina river delta. We calibrated models adjusting roughness, viscosity and dispersion coefficients. The simulation reveals that roughness coefficient influences a distribution of salt wedge strongly. Moreover, we evaluate how different turbulence models affect a vertical distribution of current velocities and salinity.

Keywords: estuary, tides, salinity intrusion, computational modelling, the Northern Dvina, the Kyanda river

Оценка точности расчета сезонных дефицитов стока обобщенным методом при различных требованиях к отдаче

Леготина П.А.*, *Сакович В. М.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
polinkaspb@yandex.ru

Аннотация: В работе сделана оценка погрешности расчета сезонных дефицитов стока упрощенным (обобщенным) методом в сравнении с детальным (основным) методом, проанализированы зависимости величины погрешности от значения расчетной обеспеченности дефицита стока и от степени регулирования. Расчет производился на примере естественного стока реки Вилюй в створе Вилюйского гидроузла.

Сравнительный анализ расчетных величин дефицита стока, полученных основным и упрощенным методами, показал, что погрешность расчета дефицита стока упрощённым методом зависит от величины гарантированного расхода и значения расчетной обеспеченности. В целом, упрощенный метод занижает расчетные величины дефицита стока. Наиболее точные результаты методика дает для высоких уровней регулирования речного стока с коэффициентом регулирования α больше 0,4. При значениях коэффициента регулирования меньше 0,30-0,35 упрощённый метод использовать не рекомендуется из-за больших погрешностей.

Ключевые слова: Меженный период, гарантированный сток, дефицит стока, расчетная обеспеченность, погрешность.

Введение

Особенности внутригодового распределения речного стока, а следовательно, и доступных для использования водных ресурсов, создают неблагоприятные условия для осуществления хозяйственной деятельности, так как малые величины стока в меженный период лимитируют возможности водопользования.

Недостаток фактического естественного стока реки в маловодный период по отношению к некоторому требуемому (пороговому или гарантированному) значению стока, необходимому для организации устойчивого водопользования, называется *дефицитом стока*.

Оценка величины дефицита стока используется в практике водохозяйственного проектирования для определения полезного объема водохранилища, обеспечивающего сезонное регулирование стока и повышение стока рек в маловодный период до величины, требуемой для организации водопользования.

В водном хозяйстве пороговое значение расхода воды, которое в результате работы водохозяйственной установки должно обеспечиваться с определенной вероятностью называют гарантированным расходом, а соответствующий этому расходу объем воды за какой-либо период (например, за год) называется гарантированным объемом стока.

Если величина полезного объема водохранилища принята равной дефициту стока определенной обеспеченности P %, то такое водохранилище позволяет увеличить естественный сток реки в меженный период до величины необходимого гарантированного расхода с вероятностью равной принятому значению обеспеченности P %.

Постановка задачи и объект исследования

В представленной работе ставилась задача оценки возможных погрешностей расчета дефицитного стока по обобщенной методике Крицкого – Менкеля по сравнению с величинами дефицита, рассчитанными основным (детальным) методом. Оценка

производилась на примере естественного стока реки Вилюй в створе плотины Вилюйского водохранилища (пос. Чернышевский).

Исследуемая территория – бассейн р. Вилюй в створе Вилюйских ГЭС-1,2 (пос. Чернышевский). Вилюй – левый приток Лены, находится к западу от нее и относится к бассейну моря Лаптевых. Бассейн включает верхнее течение Вилюя и располагается в западной части республики Саха (Якутия), а также частично на восточной границе Красноярского края и северо-восточной Иркутской области. Площадь водосбора 136 тыс. км^2.

Климат бассейна реки Вилюй относится к резко-континентальному типу, что определяется не только географическим положением, но и рельефом. Зима в этом регионе продолжительная (в среднем 7 месяцев – с октября по апрель), характеризуется очень низкими температурами (средняя температура января минус 36,2°С), а также сравнительно небольшим количеством осадков. Осадки выпадают преимущественно летом, которое продолжается 3-4 месяца и характеризуется средней температурой июля в плюс 18,5°С. Годовой тепловой баланс у данной местности отрицательный. Весна на территории бассейна р. Вилюй скоротечна и может завершиться за две декады. Из-за резкого увеличения температуры воздуха снег сходит быстро, однако почва долго не оттаивает из-за ночных заморозков. Это способствует увеличению поверхностного стока, так как воды не проникают внутрь грунтов.

Еще одним существенным природным фактором формирования стока на территории района, помимо климатического, является мерзлота. Она способствует увеличению весеннего стока и препятствует грунтовому питанию в период зимней межени.

В таких климатических условиях формируется водный режим с ярко выраженным внутригодовым распределением. Среднегодовые расходы воды в расчётном створе колеблются в диапазоне от 345 до 1044 м^3/с, норма стока составляет 661 м^3/с. Сток половодья составляет 80-85 % годового стока. К многоводному периоду относятся в первую очередь V и VI, а также VII. Затем с августа по октябрь наблюдается летне-осенняя межень. С ноября начинается устойчивая зимняя межень и продолжается до апреля. На зимнюю межень приходится всего 1-1,5 % годового стока.

При таком распределении стока дефицит формируется, прежде всего, в период зимней межени, и только при больших значениях порогового стока в формировании дефицита участвует летне-осенний период.

Методика расчета дефицита стока

Оценка точности расчета дефицитов стока упрощенным методом производилась в сравнении с расчетом детальным способом. Обе методики применяются в практике водохозяйственного проектирования.

Основной методикой расчета дефицитов стока является детальный расчет дефицита стока каждого водохозяйственного года с учетом фактической продолжительности межени в этом году. Расчет производится по месячным интервалам времени, при этом за меженный период в конкретном водохозяйственном году принимается интервал от первого до последнего месяца со стоком меньше порогового значения. В результате продолжительность меженного периода, за который рассчитывается дефицит может меняться от одного водохозяйственного года к другому.

Для расчета дефицитов необходимы следующие величины: ряд средних расходов за расчетные интервалы (обычно за месяц, иногда за декаду) и заданное значение гарантированного расхода. В данной работе использовались среднемесячные расходы.

Для назначенного гарантированного расхода определяются месяцы со стоком меньше, чем гарантированный. Дефицит в каждом водохозяйственном году определяется по формуле (Арсеньев и Иваненко, 1993):

$$D_i = \overleftarrow{\max} \sum_{j=1}^{n} \left(Q_{\text{гар}} - Q_{j,i} \right) \cdot \Delta t \quad (1)$$

где D_i – дефицит стока в i-том году, м^3; $Q_{\text{гар}}$ – гарантированный расход отдачи, м^3/с; $Q_{j,i}$ – среднемесячный расход для каждого месяца межени, м^3/с; Δt – продолжительность месяца в секундах.

Символ $\overleftarrow{\max}$ обозначает, что дефицит суммируется «ходом назад», то есть от последнего месяца межени к первому, и выбирается максимальное значение суммы. Это позволяет автоматически учесть в расчете случаи, когда межень прерывается дождевыми паводками и $Q_{\text{гар}} < Q_{j,i}$.

Таким образом, формируется многолетний ряд дефицитов стока. Так как мы имеем дело не с реальными расходами, а недостатком стока, то чем меньше фактический расход, тем больше дефицит (при заданном значении гарантированном стоке). Поэтому для определения дефицита расчетной обеспеченности ряд дефицитов ранжируется в возрастающем порядке и аппроксимируется сглаживающей аналитической кривой.

Упрощенная методика расчета дефицитов стока в каждом водохозяйственном году предполагает закрепление на все годы границ начала и конца меженного периода, за который рассчитывается дефицит. По этой методике расчет ежегодных значений дефицитов стока осуществляется в постоянных, или жестких, границах межени. Данный метод предложен С. Н. Крицким и М. Ф. Менкелем и в некоторой литературе называется *обобщенным* методом.

Для расчёта дефицитов стока в жестких границах необходимо оценить многолетнее внутригодовое распределение стока. За меженный период принимаются месяцы, когда среднемноголетний месячный расход меньше среднемноголетнего годового ($\overline{Q}_j < \overline{Q}_{\text{год}}$). Границы установленного меженного интервала закрепляются и являются постоянными для всех водохозяйственных лет.

Далее рассчитываются средние расходы воды за межень $Q_{\text{меж}}$ для каждого водохозяйственного года. Формируется ряд среднемеженных расходов воды, вычисляются его статистические характеристики (C_V, C_S/C_V), подбирается аналитическая кривая обеспеченности и определяется среднемеженных расходов воды необходимой обеспеченности $Q_{\text{меж},P\%}$. В случае плохого соответствия эмпирической и аналитической кривых, среднемеженные расходы необходимой расчетной обеспеченности определяются по сглаженной кривой обеспеченности.

Дефициты стока (в объемах) за межень необходимой расчетной обеспеченности определяются по формуле (Крицкий и Менкель, 1952):

$$D_{P\%} = \left(Q_{\text{меж},P\%} - Q_{\text{гар}} \right) \cdot n_{\text{меж}} \cdot \Delta t = W_{\text{меж},P\%} - W_{\text{гар}} \quad (2)$$

где D – дефицит стока за межень, м^3; $Q_{\text{гар}}$ – гарантированный расход отдачи, м^3/с; $Q_{\text{меж},P\%}$ – среднемеженный расход обеспеченностью P %, м^3/с; $n_{\text{меж}}$ – число меженных месяцев; Δt – средняя продолжительность месяца в секундах ($2{,}63 \cdot 10^6$); $W_{\text{гар}}$ – объем гарантированного стока за межень, м^3; $W_{\text{меж},P\%}$ – объем меженного стока обеспеченностью P %, м^3.

Сопоставление результатов расчетов дефицита стока и анализ

Для расчета дефицитов было назначено 9 пороговых значений стока в долях от среднемноголетнего годового расхода р. Вилюй. В практике водохозяйственных расчетов отношение гарантированного расхода к среднемноголетнему годовому называется *коэффициентом регулирования* стока и обычно обозначается символом α. В качестве расчетных обеспеченностей P были выбраны следующие значения: 75, 80, 90, 95, 97 и 99 %. Дефициты таких обеспеченностей соответствуют маловодным годам.

В результате, при расчете основным методом, для каждого значения гарантированного расхода был получен ряд дефицитов стока продолжительностью 81 год, рассчитанных по формуле (1). Всего девять рядов. Каждый ряд ранжировался по возрастанию, для него строилась эмпирическая кривая и сглаживающая аналитическая кривая (полином второй степени) с использованием математического аппарата электронных таблиц MS Excel.

При расчете обобщенным методом использовался только один ряд среднемеженных расходов и его статистические параметры. В качестве аналитической кривой была выбрана кривая Крицкого-Менкеля. Определялись объемы гарантированного стока для 9 значений α, обеспеченные значения меженного стока и по формуле (2) расчетные величины дефицитов стока.

Были вычислены значения абсолютных и относительных погрешностей обобщенного метода по сравнению с детальным. Сопоставление рассчитанных двумя методами величин дефицитов стока при всех заданных значениях обеспеченности и коэффициента регулирования показало, что при обеспеченности меньше 90 % наибольшие отклонения наблюдаются при малых величинах гарантированного расхода (при α меньше 0,3) , а при обеспеченности больше 90 % – при α больше 0,6. Выявлена область наименьших абсолютных погрешностей, не зависимых от значения расчетной обеспеченности, на интервале гарантированных расходов, составляющих 0,4 – 0,5 от среднего многолетнего расхода.

На графике изменения относительных погрешностей в зависимости от гарантированного расхода и расчетной обеспеченности (рисунок 1) видно, что упрощенный метод в целом дает заниженные значения дефицитов стока по сравнению с детальным способом. При значениях $\alpha > 0{,}35$ занижение несущественно и находится в пределах 5 %. Значительно бóльшие погрешности упрощенного метода, доходящие до 20 и даже до 100 %, наблюдаются при значениях гарантированного стока меньше 0,35 от среднемноголетнего годового. Это означает, что обобщенный метод оценки дефицита стока, а следовательно необходимого полезного объема, нельзя использовать при проектировании водохранилищ неглубокого сезонного регулирования (при $\alpha < 0{,}35$). В целом, наименьшие погрешности обобщенного метода наблюдаются в диапазоне $0{,}4 < \alpha < 0{,}5$. При больших значениях α погрешность находится в пределах 5 % и уменьшается с уменьшением расчетной обеспеченности.

Следовательно, расчет сезонных дефицитов стока по обобщенной методике для данного характера внутригодового распределения возможен только при высокой степени зарегулированности ($\alpha > 0{,}35$).

Выводы:

В результате проведенных вычислений установлено:

1) обобщенный метод в целом занижает расчетные объемы дефицитов стока;

2) погрешности зависят от величины гарантированного расхода и значения расчетной обеспеченности;

3) при значениях $\alpha > 0{,}4$ относительные ошибки составляют 2 – 5 %, что говорит о возможности использования упрощенного метода;

4) в диапазоне $0{,}4 < \alpha < 0{,}9$ погрешности уменьшаются с понижением расчетной обеспеченности;

5) выявлена область наименьших погрешностей, не зависящих от расчетных обеспеченностей, при значениях α равных 0,4 – 0,5;

6) погрешности упрощенного метода достигают наибольших значений (20 – 100 %) при малых гарантированных расходах ($\alpha < 0{,}3$), особенно при коэффициенте $\alpha = 0{,}2$ и обеспеченности 75 – 90 % и при $\alpha = 0{,}1$ для всех значений расчетной обеспеченности.

Таким образом, можно сделать вывод, что для условий хорошо выраженного внутригодового распределения стока, аналогичного распределению стока реки Вилюй,

обобщенная методика при небольших значениях коэффициента регулирования дает недопустимо большие погрешности. Это не позволяет рекомендовать ее к использованию для значений $\alpha < 0{,}3$. При больших значениях гарантированного расхода упрощенная методика может применяться для расчетов сезонных дефицитов стока и, соответственно, для оценки величины полезного объема водохранилища сезонного регулирования.

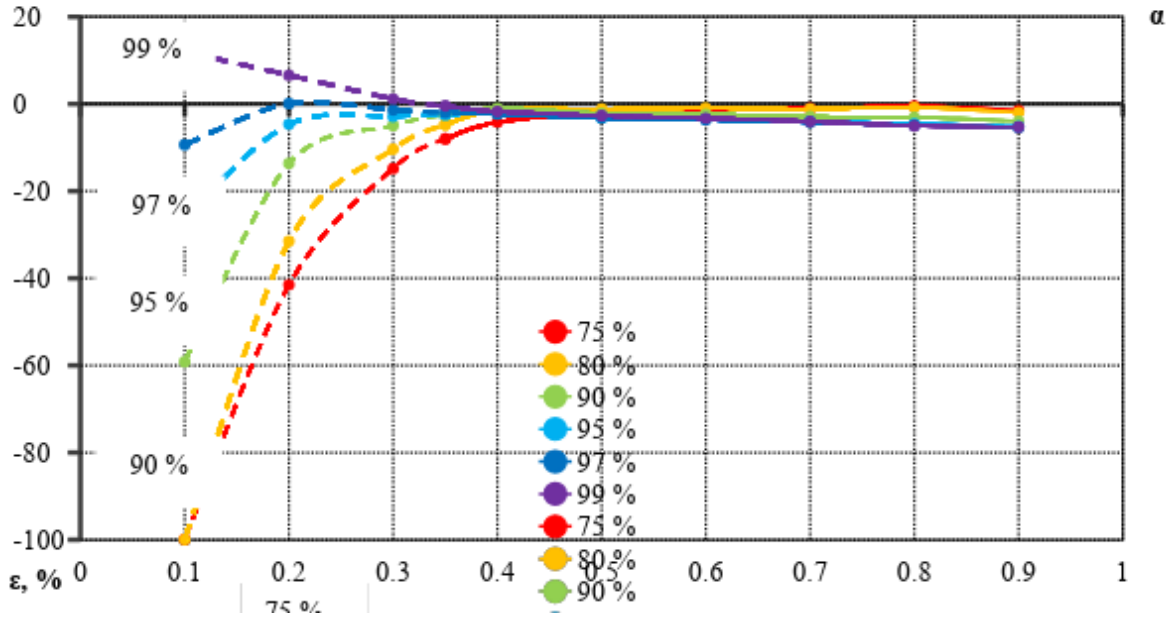


Рис. 1 – Совместный график относительных ошибок для различных расчетных обеспеченностей

Список литературы

Крицкий, С. Н, Менкель, М. Ф. Водохозяйственные расчеты. Регулирование речного стока, водохозяйственные и водноэнергетические расчеты. / С. Н. Криций, М. Ф. Менкель – Л.: ГИМИЗ, 1952. – 392 с.

Арсеньев, Г. С., Иваненко А. Г. Водное хозяйство и водохозяйственный расчеты / Г. С. Арсеньев, А. Г. Иваненко. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 272 с.

Estimation of the accuracy of calculation of seasonal runoff deficits by a generalized method with different requirements for the yield

Legotina P. A., Sakovich V. M.
Russian State Hydrometeorological university, St. Petersburg
polinkaspb@yandex.ru

Abstract: The paper presents an estimate of the error in calculation of the seasonal runoff deficits by a simplified (generalized) method in comparison with the detailed (basic) method and gives analysis of the dependence of the error value on the value of design probability of the flow deficit and on the degree of regulation. The calculation was made on the example of the natural flow of the Vilyui River at dam site of the Vilyui hydroelectric complex.

A comparative analysis of the calculated values of the runoff deficit obtained by basic and simplified methods showed that the error in calculating the runoff deficit by a simplified method depends on the amount of guaranteed flow and the value of the design probability. In general, the simplified method reduces the values of the runoff deficit. This method gives the most accurate results at high flow regulation levels with a coefficient of flow regulation (α) greater than 0.4. If the coefficient α is less than 0.30-0.35, the simplified method is not recommended because of large errors.

Keywords: Low water period, guaranteed flow, runoff deficit, design probability, error

Особенности параметризации коэффициентов гидравлического сопротивления в русловых потоках

Лепихин А.А.

«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук

lepihin@mail.ru

Аннотация: Коэффициенты гидравлического сопротивления и непосредственно связанные с ними коэффициенты Шези играют ключевую роль в динамике русловых потоков, поэтому исследованию этих коэффициентов, вопросам их параметризации в настоящее время уделяется очень большое внимание. Сложность решения данной проблемы, обусловленная многофакторностью рассматриваемых процессов, привела к тому, что при решении прикладных инженерных задач количественная оценка параметров гидравлического сопротивления, в первую очередь, коэффициентов гидравлической шероховатости, достаточно часто проводится на основе качественных характеристик потока (специальных таблиц и фотоальбомов). Если при решении прикладных задач такой подход достаточно часто представляется вполне правомерным, однако он не способствует исследованию самого механизма формирования гидравлического сопротивления в русловых потоках. Сложность задачи заключается в том, что даже в равномерном и установившемся прямолинейном потоке, без учета зарастания его русла высшей водной растительностью, может реализоваться несколько механизмов формирования гидравлического сопротивления. В первую очередь, можно выделить следующие механизмы формирования гидравлического сопротивления:

– на гладкой стенке (вязкий подслой),
– на неподвижной зернистой шероховатости,
– на грядовых структурах,
– на когерентных структурах,
– при транспортировке взвешенных наносов.

В работе на основе анализа размерностей показано, что, в зависимости от особенностей конкретного гидравлического режима водотока, доминирующими могут быть различные механизмы и, соответственно, различные расчетные соотношения.

В настоящее время, наряду с анализом формирования гидравлического сопротивления на зернистых структурах, стало уделяться значительное внимание особенностям параметризации грядового сопротивления в русловых потоках. В целом значительное количество их возможных комбинаторных сочетаний стало одним из основных факторов, обусловивших наличие очень большого количества расчетных соотношений для оценки коэффициентов Шези.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, русловые потоки, параметризация.

Коэффициенты гидравлического сопротивления и непосредственно связанные с ними коэффициенты Шези играют ключевую роль в динамике русловых потоков. Поэтому исследованию этих коэффициентов, вопросам их параметризации в настоящее время уделяется очень большое внимание.

Так как механизмы многих процессов, обуславливающих гидравлические сопротивления в русловых потоках, недостаточно изучены, поэтому на начальной стадии такой анализ следует выполнить на основе анализа размерности. При проведении анализа размерностей центральное место занимает объективность и корректность задания определяющих параметров.

При этом в качестве параметров, в достаточно полной мере описывающих гидравлическое сопротивление потока, можно принять:

$$\lambda \approx \Phi\left(V, R, g, \nu, d_{\Delta}, \rho_s, \rho, i, B, \omega_S, S\right), \quad (1)$$

где V – средняя скорость потока, [м/сек];

R – гидравлический радиус, [м];

g – ускорение свободного падения, [м/сек^2];

ν – кинематическая вязкость воды, [м^2/сек];

d_{Δ} – характерный размер частиц донных отложений, [м];

ρ_s – плотность материала частиц, [кг/м^3];

ρ – плотность воды, [кг/м^3];

i – гидравлический уклон потока;

B – характерная ширина потока, [м];

ω_S – гидравлическая крупность взвешенных частиц, [м/сек];

S – объемная концентрация взвешенных частиц.

Согласно П-теоремы (Баренблатт, 2009) при выборе 11 определяющих параметров и при наличии 3 независимых размерностей они должны быть сгруппированы в 11-3=9 безразмерных комплексов:

$$\lambda\left(V, R, g, \nu, d_{\Delta}, \rho_S, \rho, i, B, \omega, S\right) \equiv \lambda\left(\mathrm{Re}, \mathrm{Re}_*, \Delta\rho, i, Fr, Fr_*, \frac{d_{\Delta}}{R}, \frac{B}{R}, K_0\right), \quad (2)$$

где $V_* = \left(g \cdot R \cdot i\right)^{1/2}$ – динамическая скорость потока;

$\mathrm{Re} = \dfrac{R \cdot V}{\nu}$ – глобальное число Рейнольдса, представляющее собой отношение сил инерции к силам вязкости, построенное по параметрам, отнесенным ко всему сечению потока;

$\mathrm{Re}_* = \dfrac{d_{\Delta} \cdot V_*}{\nu}$ – локальное число Рейнольдса, характеризующее отношение сил инерции к силам вязкости, построенное по параметрам, характеризующим придонный слой;

$Fr = \dfrac{V^2}{g \cdot R}$ – глобальное число Фруда, характеризующее отношение силы инерции к силе тяжести, построенное по параметрам относительно всего сечения водопотока;

$Fr_* = \dfrac{V_*^2}{g \cdot d_{\Delta}}$ – локальное число Фруда, характеризующее отношение силы инерции и силы тяжести, построенное по параметрам, характеризующим придонный слой;

$\dfrac{d_{\Delta}}{R}$ – относительная шероховатость русла, в ряде литературных источников рассматривается как число Штриклера;

$\Delta\rho = \left(\dfrac{\rho_S - \rho}{\rho}\right)$ – относительная плотность частиц;

$\dfrac{B}{R}$ – параметр формы поперечного сечения русла;

$Ko = \frac{g \cdot H \cdot \omega \cdot S}{V_*^3}$ – число Колмогорова (Гришанин, 1992), характеризующее долю турбулентной энергии, расходуемой на взвешивание частиц.

Данные показатели тесно связаны с критериями, используемыми в гидродинамике и динамике речных потоков, такие как $\frac{\mathrm{Re}_*^2}{Fr_*} = Ga$ – число Галилея, характеризует отношение сил тяжести и вязкости, при этом $Ga \cdot \Delta\rho = Ar$ – число Архимеда.

В то же время $Ar^{1/3} = D_*$ – число Боннефилле, широко используется в динамике русловых потоков для характеристики устойчивости частиц на дне потока, $\frac{Fr_*}{\Delta\rho} = 1/\theta$ θ – число Шильдса, характеризует отношение сдвигающих и удерживающих сил частиц на дне потока, при этом $D_* = \left(\frac{\mathrm{Re}_*}{\sqrt{\theta}}\right)^{2/3}$

Табл. 1 Классификация моделей расчета коэффициента гидравлического сопротивления в русловых потоках

№ п/п	Режим течения и характер сопротивления	Область реализации	Определяющие параметры, расчетные соотношения
1	Ламинарные течения	$\frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}_{кр}} << 1$	$\lambda = f_1(\mathrm{Re})$, $\lambda = 64/\mathrm{Re}$
2	Турбулентные течения	$\frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}_{кр}} >> 1$	λ=f(Re, Δ/R, (R·i)/Δ
2.1	Гидравлически гладкие русла	$\frac{\mathrm{Re}_*}{\mathrm{Re}_{*кр}} << 1$	$\lambda = f_2(\mathrm{Re})$ $\lambda_{гл} = \frac{2*e}{(\ln(\mathrm{Re}))^{\sqrt{2*e}}}$
2.2	Зернистая шероховатость	$\frac{\mathrm{Re}_{c*}}{\mathrm{Re}_{*кр}} >> 1$ $\frac{F_{г*}}{F_{г*кр}} << 1$	λ=f3(Δ/R,Re), при этом, как правило, используются степенная или логарифмическая аппроксимации. $\frac{1}{\sqrt{\lambda_{зер}}} = A_2(R/\Delta)^{1/\gamma}$, $C \sim K*(R/\Delta)^{1/\gamma}$ - Маннинга-Штриклера $\gamma = 6$ - Маннинг, $\gamma = 5$ - Форхгеймер, $4 \le \gamma \le 8$ - Павловский. K~20÷23.
2.3	Грядовое сопротивление	$\frac{\mathrm{Re}_*}{\mathrm{Re}_{*кр}} >> 1$ $\frac{F_{г*}}{F_{г*кр}} \ge 1$	$\lambda_{гр} = f(\psi)$, $\psi \approx \left(\frac{i \cdot R}{d}\right)$, $\lambda_{гр} \approx \psi \exp(-k \cdot \psi)$

При этом может реализоваться несколько механизмов гидравлического сопротивления. В первую очередь, можно выделить следующие механизмы формирования гидравлического сопротивления:

– на гладкой стенке (вязкий подслой),
– на неподвижной шероховатости,
– на грядовых структурах,
– на когерентных структурах,
– на транспортировке взвешенных наносов.

В качестве первого приближения принимается аддитивность их взаимодействия λнач=i=1mλi (Гришанин, 1992).

Однако такая конструкция для решения практических задач малоэффективна. Из-за большого количества входящих в нее параметров ее калибровка весьма затруднена. В то же время степенная аппроксимация, как следствие неполной автомодельности, приемлема только для описания асимптотик.

В связи с этим особое значение имеет анализ отдельных частных случаев.

В достаточно общем виде модели расчета гидравлического сопротивления можно для отдельных частных случаев представить следующим образом (табл. 1).

Анализ коэффициентов гидравлического сопротивления для гидравлически гладких русел дается в работе (Лепихин, 2015).

При решении практических задач наибольший интерес представляют потоки с зернистой шероховатостью. Большинство эмпирических расчетных соотношений для оценки коэффициентов Шези было получено для данного режима. Впервые достаточно строгое обоснование уравнения Маннинга-Штриклера на основе схемы диссипации турбулентной энергии А.Н. Колмогорова было получено в работе (Gioia, 2002). В последние годы значительный интерес проявляется к оценке роли и параметризации грядового сопротивления (Гришанин, 1992; Лепихин, 2015).

В зависимости от особенностей конкретного гидравлического режима водотока доминирующими могут быть различные механизмы и, соответственно, различные расчетные соотношения. В целом значительное количество их возможных комбинаторных сочетаний стало одним из основных факторов, обусловивших наличие очень большого количества расчетных соотношений для оценки коэффициентов Шези.

Список литературы

Баренблатт Г.И. Автомодельные явления - анализ размерностей и скейлинг // Пер. с англ., Учебное пособие, Долгопрудный МО, Издательский Дом Интеллект. – 2009. – 216 с.

Гришанин К.В. Гидравлическое сопротивление естественных русел. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 184 с.

Лепихин А.П. К оценке коэффициента гидравлического сопротивления в гладких трубах // Вычислительная механика сплошных сред, 2015. Т.8. № 4.

Лепихин А.П., Богомолов А.В. История установления и современные представления об основной закономерности равномерного установившегося течения в водотоках (к 240-летию формулы А. Шези) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. №6. С.76-92.

Gioia G., Bombardelli F.A. Scaling and Similarity in Rough Channel Flows // Physical review letters. 2002. № 1.

Peculiarities of parametrization of hydraulic resistance factors in stream flows

Lepikhin A.A.
"Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences" - a branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
lepihin@mail.ru

Abstract: The coefficients of hydraulic resistance and the directly related with them Chezy's coefficients of the play a key role in the dynamics of stream flows, so a great deal of attention is now devoted to the study of these coefficients and the questions of their parametrization. The complexity of the solution of this problem, caused by the multifactority of the processes under consideration, led to the fact that in solving applied engineering problems, a quantitative evaluation of hydraulic resistance parameters, primarily hydraulic roughness coefficients, is often performed on the basis of qualitative flow characteristics (special tables and photo albums). If in the solution of applied problems such an approach is often quite lawful, however, it does not contribute to the study of the mechanism itself for the formation of hydraulic resistance in stream flows. The complexity of the problem lies in the fact that even in a uniform and steady rectilinear flow, without taking into account the overgrowing of its bed by higher aquatic vegetation, several mechanisms for the formation of hydraulic resistance can be realized. First of all, we can single out the following mechanisms for the formation of hydraulic resistance:

- on a smooth wall (a viscous sublayer),
- on fixed grainy roughness,
- on full structures,
- on coherent structures,
- when transporting suspended sediment.

In work on the basis of the analysis of dimensionalities, it is shown that, depending on the features of the specific hydraulic regime of the watercourse, various mechanisms and, accordingly, different calculated relationships can be dominant.

At present, along with the analysis of the shaping of hydraulic resistance on granular structures, considerable attention has been paid to the features of the parameterization of the full resistance in stream flows. In general, a significant number of possible combinatorial combinations became one of the main factors that caused the presence of a very large number of calculated ratios for the estimation of the Chezy's coefficients.

Keywords: hydraulic resistance, stream flows, parametrization**.**

Численное моделирование гидрологических и гидрохимических режимов речных и водохозяйственных систем

Никифоровская В.С.[1], Лаптева Н.А.[2,3]
[1] Институт гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск
[2] Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск,
[3] ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, Кольцово
lapteva@sscc.ru

Аннотация: Численное моделирование гидрологических и гидрохимических режимов выполняется с помощью разработанной в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН математической модели качества воды, основой которой являются одномерные уравнения Сен-Венана и уравнения переноса тепла, кислорода и иных примесей. Приводятся примеры численного моделирования.

Ключевые слова: математические модели, численное моделирование, качество воды, водохозяйственные системы.

Введение

Среди проблем, связанных с изучением воздействия деятельности человека на окружающую среду, одной из наиболее острых является проблема загрязнения водной среды содержащих различные примеси сточными водами, сбрасываемых в водные объекты. Основными источниками отработанных вод могут являться промышленные / коммунальные предприятия, возведенные на территориях, примыкающих к водным артериям сельскохозяйственные комплексы, и др. В некоторых случаях загрязнение может быть связано со сбросом подогретой воды (тепловое загрязнение). Оценка степени воздействия источника загрязнения на водную среду требуют учета возникающих при этом гидродинамических, физических, а также химико-биологических процессов.

Материалы и методы

Численное моделирование возможного изменения гидрологических режимов в открытых водотоках и их системах, а также происходящих в них гидрохимических процессов при неустановившемся течении, проводится с помощью математических моделей и численных методов, разработанных в Институте гидродинамики СО РАН. Для расчета гидравлических характеристик используется система одномерных уравнений мелкой воды (уравнения Сен-Венана) с различными альтернативными вариантами учета поверхностного стока с территорий, прилегающих к руслу водотоков (Воеводин, Никифоровская, 1978, Кузин и др., 2017).

$$B\frac{\partial Z}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q,$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{\omega}\right)=-g\omega\left(\frac{\partial Z}{\partial x}+\frac{Q|Q|}{K^2}\right)+R_w.$$

где t — время; x — координата, отсчитываемая вдоль оси русла; $Z(x,t)$ — уровень свободной поверхности; $Q(x,t)$ — расход воды; $q(x,t)$ — распределенный по длине русла боковой приток; $B(h,x)$, $\omega(h,x)$, $K(h,x)$ — соответственно ширина свободной поверхности, площадь поперечного сечения и модуль расхода при глубине h; R_w – внешние факторы (например, ветровой нагон (сгон), градиент барометрического давления); g – ускорение силы тяжести.

Для расчета характеристик качества воды – однотипные уравнения переноса тепла, кислорода и других субстанций, а именно: уравнение теплового баланса, биохимической потребности в кислороде, уравнение растворенного кислорода можно записать в общем виде

$$\frac{\partial}{\partial t}(\omega Y)+\frac{\partial}{\partial x}(QY)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\omega E\frac{\partial Y}{\partial x}\right)+qy+F,$$

С помощью уравнения неразрывности уравнение приводится к виду:

$$\omega\frac{\partial Y}{\partial t}+Q\frac{\partial Y}{\partial x}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\omega E\frac{\partial Y}{\partial x}\right)=F+q(y-Y), \quad (1)$$

где под $Y(x,t)$ понимается $T(x,t)$ – температура воды; $L(x,t)$ – биохимическая потребность в кислороде (БПК), отнесенная к единице объема воды; $c(x,t)$ – концентрация растворенного кислорода; $S(x,t)$ – соль (или концентрация растворенного вещества); под y – характеристика качества воды ($T_q(x,t), L_q(x,t), c_q(x,t), S_q(x,t)$), поступающей вместе с распределенным притоком (оттоком) воды на единице длины русла; причем, если $q \le 0$, то $y = Y$, в противном случае y должны быть заданы. $E(h,x)$ - коэффициент продольной дисперсии, для его вычисления использовалась формула Харлемана $E = 20.2 \cdot \sqrt{g} \cdot |v| \cdot R/C$, где R - гидравлический радиус, C - коэффициент Шези; величина F в зависимости от Y определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} -k_T B(T-T_E), &\text{ если } Y \equiv T,\\ -k_1 \omega L, &\text{ если } Y \equiv L,\\ k_2\omega(c^o-c)-k_1\omega L, &\text{ если } Y \equiv c,\\ 0, &\text{ если } Y \equiv S. \end{aligned}$$

Здесь k_T - коэффициент теплообмена с окружающей средой; T_e - равновесная (или так называемая «естественная») температура, т.е, температура воды, при которой в данных квази стационарных метеорологических условиях прекратился бы теплообмен между водной массой и атмосферой; c^o - концентрация кислорода при насыщении; $k_1(T)$ - коэффициент минерализации, характеризующий скорость потребления кислорода вследствие окисления органических загрязнений (коэффициент деаэрации); $k_2(T)$ - коэффициент реаэрации, характеризующий скорость поступления кислорода из атмосферы (Streeter, 1967).

Созданный на базе разработанных численных методов и алгоритмов пакет программ «ГИДР» на ЭВМ позволяет обеспечить их применение для решения широкого круга научно-исследовательских и практических (прикладных) задач по гидролого-экологическому обоснованию различных водохозяйственных проектов, оценке возможных отрицательных воздействий на окружающую среду и разработке эффективных защитных мероприятий при катастрофических явлениях на водных объектах (Рекламный проспект, 1989).

Численное моделирование проводилось с помощью входящего в состав пакета «ГИДР» комплекса программ «СИГМА» для расчета неустановившихся движений воды в разветвленных системах русел и каналов с учетом ее качества (Воеводин, 1989). Программы комплекса являются универсальными, т.к. они имеют автоматическую настройку на работу любого из 6-ти ниже приведенных режимов работы. Кроме того, имеют гибкую модульную структуру, что позволяет производить корректировку блоков либо замену одних блоков другими и при необходимости дополнять недостающими.

С помощью программ комплекса можно решать широкий круг одномерных задач гидравлики отрытых русел (каналов), например (Никифоровская, 1985, 2013):

- о паводках и попусках, половодьях, суточном и недельном регулировании в бьефах ГЭС;
- о тепловом загрязнении воды, вызванном, например, аварийными сбросами в них горячих вод промышленными предприятиями, ТЭЦ, АЭС;
- о биохимической потребности в кислороде (БПК) воды;
- о концентрации кислорода, содержащейся в воде водотоков и водоемов, необходимых флоре и фауне для их удовлетворительного обитания в водной среде;
- о загрязнении воды различными примесями (соленость воды или любое другое растворенное в воде консервативное вещество).

Результаты

Водоток с реальной морфометрией состоящий из 2-х участков имеет общую протяженность $L_{общ} = 156\,км$. На стыке участков ($x = 85\,км$) расположена источник загрязнения эпизодически сбрасывающий в водоток расход отработанных вод $Q^*(t)$ с переменными во времени характеристиками загрязнения: $T^*(t), L^*(t), c^*(t), S^*(t)$. При расчете граничными условиями служили: а) для гидравлических уравнений – во входном створе 1-го участка: изменение расхода воды во времени $Q(t)$ (3-х часовой подъем расхода с 1000 до 1500 куб. м \ сек) с дальнейшим (через 9 часов) 6-ти часовым его спуском до постоянного значения 1000 куб.м. В замыкающем створе рассматриваемой системы (конец 2-го участка) – постоянный во времени уровень воды $z(t) = 78{,}75 = const$.

Для уравнений переноса субстанций в вершине начала 1-го участка – характеристики качества воды поступающего в этом створе расхода воды; в замыкающем створе 2-го участка граничное условие задавать не требуется, так как оно вырабатывается самими уравнениями переноса в предположении, что на большом удалении от места сброса примесей (тепла) роль продольной дисперсии становится пренебрежимо малой, (т.е E=0) и концентрация примесей (температура) на этой границе определяется главным образом адвективным переносом. Тогда уравнение (1) приводится к виду

$$\frac{\partial}{\partial t}(\omega Y) + \frac{\partial}{\partial x}(QY) = F,$$

В качестве начальных условий для гидравлических характеристик был задан установившийся режим, полученный в результате расчета на установление (расход $Q^O = 1000\ м^3/сек$ и характеристик качества – постоянных во времени: температура $T^O = 20^O C$, БПК = 0, концентрации кислорода $C^O = 3\,мг/л$ и примесей $S^O = 5\,мг/л$). Расчет производился с шагом по времени $dt = 600\,сек$, постоянным в течение всего расчетного периода времени $t = 0 \div 120\ час$. При этом на 1-ом участке шаг по длине был равен 2900 м, на 2-ом – 3050 м. Коэффициент Шези вычислялся по полной формуле Н.Н.Павловского, коэффициент дисперсии – по формуле, используемой Харлеманом.

Приведенные на рис. 1 для концов расчетных участков результаты расчетов изменения характеристик качества воды позволяют наглядно проследить во времени процесс распространения (восстановления) водотока от загрязнения (сверху вниз): температуры воды (T), концентрации кислорода (C), БПК (L) и концентрации иных примесей в воде (S).

Анализ полученных результатов показывает, что в результате предусмотренного режима работы станции очистки, расположенной на стыке участков, последствия

аварийного сброса сточных вод могут быть устранены лишь к концу 5-х суток, т.е. достижение характеристик качества воды в водотоке в его естественных условиях.

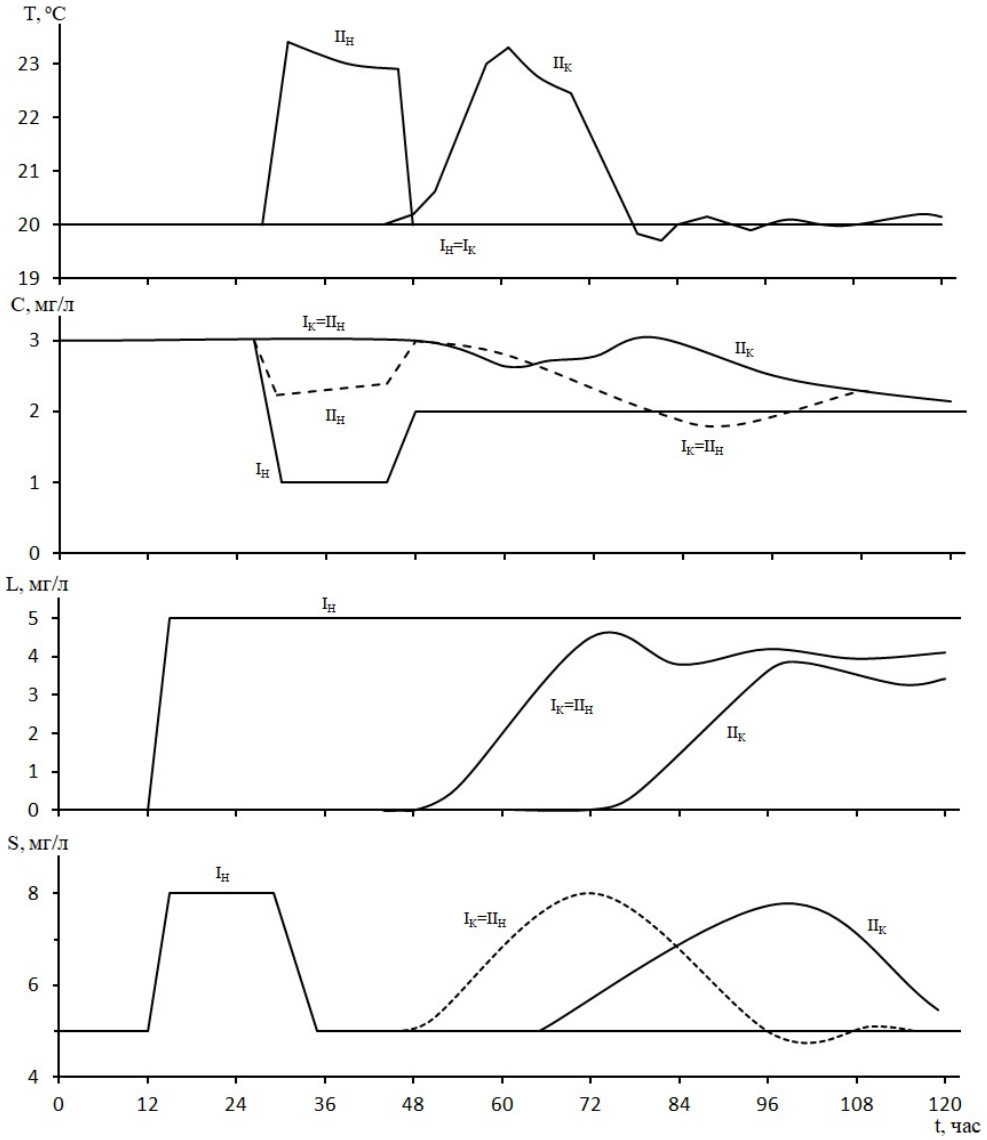


Рис. 1. Распределение температуры, кислорода, БПК и примесей во времени на концах отрезков.

Выводы

Полученные результаты показывают возможность использования данной математической модели для исследования и прогноза качества воды в водотоке: восстановление характеристик воды от сбрасываемых в водоток загрязняющих субстанций до экологически чистых норм существования флоры и фауны.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

Список литературы

Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С. Математическое моделирование характеристик качества воды в системах открытых русел // В сб. Доклады по вопросам математического моделирования качества воды водоемов. Москва. СЭВ. 1978.

Комплекс гидравлических моделей для решения проблем рационального использования водных ресурсов // Рекламный проспект. Внешторгиздат. 1989, изд. № 6120 МВ.

Никифоровская В.С. Математическая модель для расчета на ЭВМ гидрофизических процессов в устьевых областях рек. // В сб.: Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах, М., Наука, 1985: 211-216.

Никифоровская В.С. Численное моделирование тепломассопереноса в водных объектах. // Метеорология и гидрология, № 4, 2013: 79-88.

Кузин В.И., Никифоровская В.С., Лаптева Н.А. Численное моделирование трансформации паводковых волн в сложных речных руслах // Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» в 4 томах, Барнаул, т.2, 2017: 142-148.

Streeter H.W. A study on the pollution and natural streams // Proc. ASCE. Journ. of Hyd. Div., vol. 93, HY 6, 1967.

Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Данилова З.В. Комплекс программ DSIGMA для расчета неустановившихся течений воды в разветвленных системах открытых русел с учетом ее качества // Алгоритмы и программы, М.: ВНТИЦ ГосФАП, Рег. номер № 50880000681, №2, 1989: 1-6.

Numerical modeling hydrologic and hydro-chemical regimes of river and water economic systems

Nikiforovskay V.S.*[1], *Lapteva N.A. [2,3]

[1] *Institute of hydrodynamics of Lavrentjev SB RAS, Novosibirsk*

[2] *Institutes of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk*

[3] *FBRI SRC VB "Vector" of Rospoterbnadzor, Novosibirsk region, Koltsovo*

lapteva@sscc.ru

Abstract: Mathematical model of quality water and numerical method working out in the Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS for the research unsteady hydrologic and hydro-chemical regimes in the river and water economic systems are used. The Sent-Venant' equations and of the same type transport equations of heat, oxygen and other admixtures are basis this mathematical model. The numerical modeling results are given.

Keywords: Mathematical models, numerical modeling, quality of water, water economic systems.

Моделирование речного стока малого горного водосбора (на примере реки Мзымты)

Панышева К. М.
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
hydrochristmas@gmail.com

Аннотация: Научная работа представляет собой попытку адаптировать физико-математическую концептуальную модель HBV (*Hydrologiska byråns vattenbalansavdelning*) (Bergström, 1976) к расчету суточной динамики слоя стока малого горного водосбора реки Мзымты в замыкающем створе п. Красная Поляна. Для выполнения расчета суточной динамики слоя стока в работе была проведена калибровка и проверка модели по трем периодам: с 1977 - 2002 гг. (f), с 1977 - 1989 гг. (h_1) и с 1990 - 2002 гг. (h_2). По результатам выполненной работы проведено исследование изменчивости оптимальных модельных параметров, который осуществлялся для периодов наблюдений f, h_1, h_2, 1977 - 1982 гг., 1978 - 1983 гг., 1979 - 1984 гг. и т.д. Для полного периода и каждого из указанных рядов наблюдений были найдены оптимальные параметры и для каждого из них построены гистограммы, по которым и проводилось исследование изменчивости параметров. По результатам полученных оптимальных модельных параметров была рассчитана динамика суточного слоя стока в замыкающем створе п. Красная Поляна для всех приведённых периодов.

Ключевые слова: концептуальная модель, слой стока, модельные параметры, критерии эффективности.

Введение

Актуальность настоящей работы определяется адаптацией концептуальной модели формирования стока HBV к расчету слоя суточного стока реки Мзымты в замыкающем створе п. Красная Поляна. Модель HBV была применена в более, чем 90 странах мира для расчета суточного слоя стока водосборов, расположенных в различных климатических поясах и имеющих значительные отличия в формировании стока, при этом качество воспроизведения слоя суточного стока моделью давало очень хорошие результаты. В связи с тем, что в долине реки исследуемой части водосбора стало активно развиваться направление рекреационного и спортивного туризма, внимание к данной территории возросло, соответственно и интерес с точки зрения гидрологических расчетов. Поэтому, выполнить поиск оптимального решения для расчета слоя стока с исследуемого водосбора представляет особый интерес.

Исходные данные

В качестве входных данных для модели выступают ряды ежедневных наблюдений за температурой воздуха и осадками, а также испаряемость, значение которой рассчитывалось в соответствии с работой (Oudin et al., 2005) как функция широты и среднесуточной температуры воздуха. На территории исследуемого водосбора действует лишь одна гидрометеорологическая станция "Красная Поляна" (индекс: 37107), наблюдения за осадками и температурой воздуха на которой ведутся с 1936 года, при этом есть значительные пропуски в рядах наблюдений в сентябре и октябре 1942 года, в феврале и декабре 1965, в феврале 1966 года, в сентябре и ноябре 1976, в ноябре 1982 года и в мае 1998 года. Пропуски метеорологических данных 1982 и 1998 годов восстанавливались по данным реанализа ERA-Interim (Dee et al., 2011). В качестве источника метеорологических данных была использована база данных проекта ECAD (Haylock et al., 2008).

Модель HBV

Модель формирования стока HBV была разработана в Шведском Институте Метеорологии и Гидрологии. Годом создания модели считается 1976, однако, ранние ее разработки датируются 1972 г. (Bergström, 1973). Уникальность модели заключается в ее простоте и возможности производить расчеты на обычных пользовательских компьютерах, так как данная модель не требует сверхсложных вычислений. В настоящей работе модель HBV рассматривается как модель с сосредоточенными параметрами. Причиной этого служит наличие единственной гидрометеорологической станции "Красная Поляна" на реке Мзымте.

Модель HBV состоит из трех основных компонентов (Bergström, 1992):

- блока формирования таяния снежного покрова;
- блока расчета динамики почвенной влаги;
- блока трансформации и речного стока на водосборе и в русловой сети.

Расчетные блоки модели включают в себя 16 параметров и поправочных коэффициентов, описывающих физико-географические особенности водосборного бассейна. Параметры модели калибруются автоматически, либо находятся экспертным, аналитическим путем.

Моделирование речного стока

Моделирование речного стока в настоящей главе представляет собой три крупных блока: поиска оптимальных параметров модели, в котором представлен общий алгоритм методики поиска, тестирование устойчивости модели и расчет критериев эффективности для объективной оценки качества воспроизведения слоя суточного стока за весь период наблюдений с 1977 - 2002 гг., а также оценка эффективности оптимальных параметров модели, полученных для калибровочных периодов.

В работе поиск оптимальных параметров производился методом автоматической оптимизации с помощью алгоритма дифференциальной эволюции (Storn and Price, 1997) - современного и эффективного алгоритма неградиентной глобальной множественной оптимизации. В качестве целевой функции был использован коэффициент Нэша-Сатклиффа (Johansson et al., 2003; Виноградов, Никифоровский, 2015), который позволяет интерпретировать качество воспроизведения динамики моделируемого слоя стока (Shamseldin, 2001), также учитывались значения коэффициента детерминации и систематическая ошибка расчета стока Bias (Айзель, 2014). После прохода заданного количества эпох оптимизации (итераций), на выходе алгоритма получаем оптимальный набор модельных параметров.

Тестирование устойчивости модели производился по трём крупным периодам: 1977-2002 гг., 1977 - 1989 гг. и 1990 - 2002 гг. Каждый из периодов являлся как калибровочным, так и проверочным. Калибровочным является период, для которого были найдены оптимальные модельные параметры, проверочным - для которого были использованы рассчитанные параметры с целью воспроизведения динамики слоя стока. Полученные для трех калибровочных периодов графики наблюденного и модельного изменения суточного слоя стока сравнивались визуально и с применением статистических критериев (табл. 1).

Таблица 1. Значения критериев эффективности модели.

	NS			**R^2**			**Bias, %**		
h1	**0.49**	0.48	0.52	**0.72**	0.72	0.73	**-3.46**	-12.2	-6.07
h2	0.49	**0.53**	0.54	0.72	**0.74**	0.74	4.88	**-4.84**	1.76
f	0.51	0.53	**0.55**	0.73	0.75	**0.76**	-2.17	-11.4	**-5.01**
	h1	**h2**	**f**	**h1**	**h2**	**f**	**h1**	**h2**	**f**

Примечание: h1 - период с 1977 - 1989 гг., h2 - период с 1990 - 2002 гг., f - полный период с 1977 - 2002 гг.

В результате тестирования устойчивости модели по трём периодам с учётом критериев эффективности (табл.1) был произведен расчет речного стока для всего периода (с 1977 - 2002 гг.) с оптимальными модельными параметрами, полученными для периода с 1977 - 1989 гг. и с 1990 - 2002 гг. (рис. 1). Крайним этапом научной работы являлось исследование изменчивости оптимальных модельных параметров, для проведения которого было необходимо получить несколько комбинаций оптимальных параметров. Для получения достаточного числа комбинаций весь период наблюдений был разбит на два крупных блока: 1977 - 1989 гг. и 1990 - 2002 гг., а также на короткие ряды наблюдений по 6 лет со сдвигом на один год вперед: 1977 - 1982 гг., 1978 - 1983 гг., 1979 - 1984 гг. и т.д. В результате этого разбиения было получено 36 комбинаций оптимальных параметров, проведено исследование их изменчивости и были выбраны наиболее чаще встречаемые значения этих параметров. После чего была получена динамика рассчитанного моделью суточного слоя стока: среднего, максимального и минимального из рассчитанных реализаций стока.

Результаты

Основными результатами, полученные в ходе выполнения научной работы, являются:

1. Карты типов подстилающей поверхности, гидрографической сети и экспозиции склонов, построенные в программе ArcMap 10.2, с целью наглядного представления и первичной оценки особенностей факторов формирования речного стока на исследуемом водосборе в замыкающем створе п. Красная Поляна

2. Подготовлены в качестве метеорологических данных для модели HBV ряды ежедневных наблюдений за температурой воздуха и осадками, значение среднесуточного испарения, рассчитанного как функция широты и среднесуточной температуры воздуха в программе Ipython Notebook, и наблюденными на п. Красная Поляна среднесуточными расходами воды за период наблюдений с 1977 - 2002 гг.

3. Проведен подробный анализ принципиальной схемы концептуальной модели HBV, разобран основной принцип действия расчетных блоков модели и заложенных в них модельных параметров и поправочных коэффициентов.

4. Выполнен поиск оптимальных параметров для модели HBV с различным количеством эпох оптимизации (итераций алгоритма дифференциальной эволюции). С помощью полученных зависимостей выбрано наиболее оптимальное число эпох оптимизации.

5. Найдены оптимальные модельные параметры путем алгоритма дифференциальной эволюции.

6. Проведена калибровка модели и ее устойчивость путем разбиения полного периода наблюдений с 1977 - 2002 гг. на несколько временных интервалов - калибровочных и проверочных периодов.

7. Исследована изменчивость оптимальных модельных параметров в зависимости от калибровочных периодов и произведен расчет слоя суточного и среднемесячного слоя с учетом максимальных, минимальных и средних значений стока из полученных реализаций расчета стока.

Выводы

По полученным результатам научной работы можно сделать следующие выводы:

1. Гидрологическое моделирование и этапы его развития очень широко представлены в иностранной и отечественной литературе, что позволяет понять физические процессы, заложенные в разных типах гидрологических моделей, и принципы расчетов стока.

2. Сложный характер рельефа, климатические условия, характер подстилающей поверхности, который значительно меняется в связи с высотной поясностью и экспозицией склонов, определяют сложность стокоформирующих процессов, которые

учитываются моделью настолько максимально, насколько это возможно при наличии единственной гидрометеорологической станции на исследуемом водосборе.

3. Рассчитанные с помощью алгоритма множественной неградиентной оптимизации оптимальные модельные параметры были использованы для расчета стока моделью как для калибровочных, так и для проверочных периодов, что позволило дать объективную оценку их устойчивости и эффективности по рассчитанным критериям Нэша-Сатклиффа, коэффициента детерминации и систематической ошибки расчета стока bias.

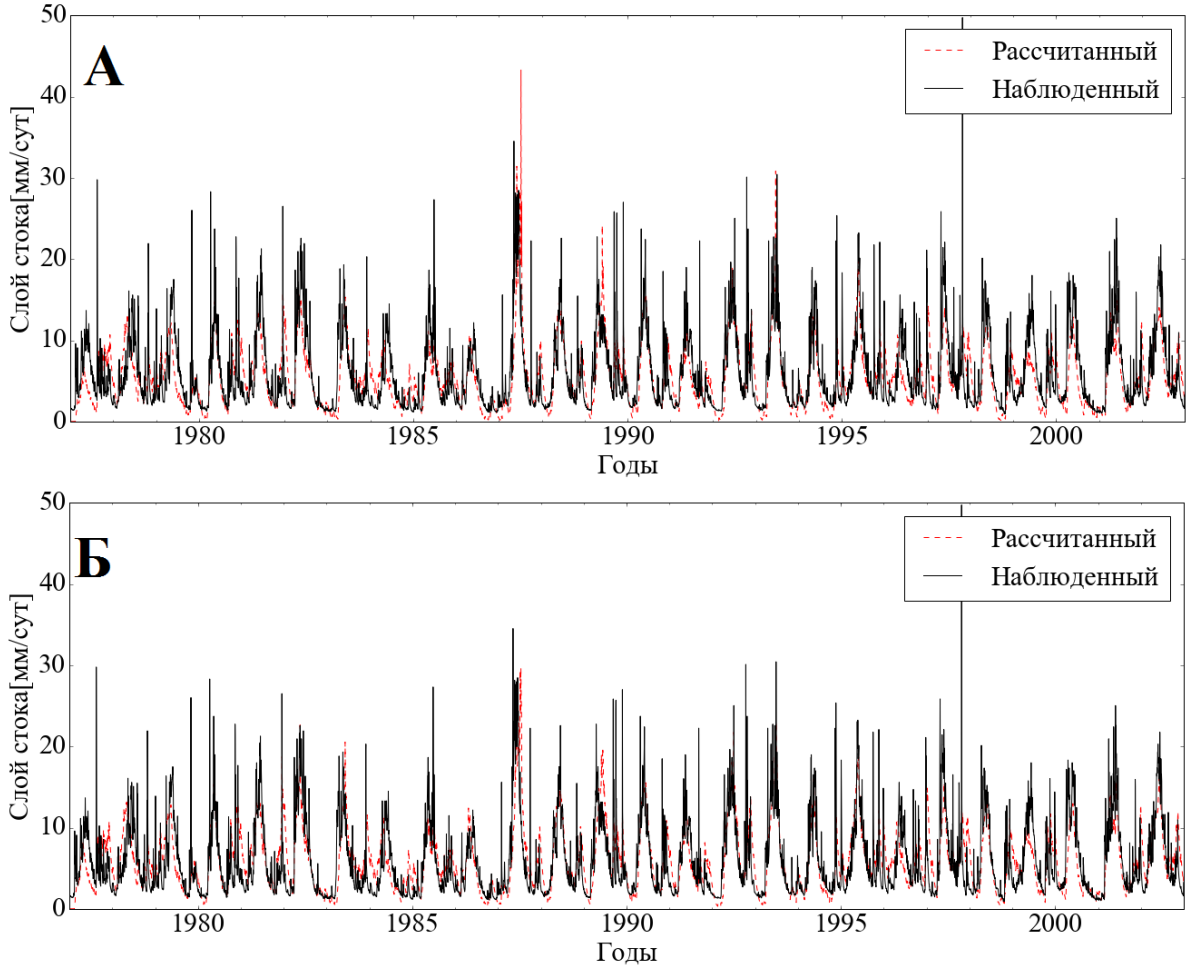


Рис. 1. Динамика суточного слоя стока с водосбора р. Мзымты в замыкающем створе п. Красная Поляна по данным наблюдений и рассчитанного моделью за период с 1977 - 2002 гг. с оптимальными параметрами, полученными для периодов с 1977 - 1989 гг. (А) и с 1990 - 2002 гг. (Б).

Список литературы

Айзель Г.В. Расчеты речного стока на основе модели SWAP для водосборов с недостаточным информационным обеспечением: дис … канд. техн. наук. – М., 2014. - 155 с.

Bergström S. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments (Rep. 7). Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), 1976. 134 C.

Oudin L., Moulin L., Bendjoudi H.&Ribstein P. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling // *Journal of Hydrology. 2005. T. 303. C.290-306.*

Dee D.P. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // *Quarterly journal of the royal meteorological society. 2011. T. 137. C.553-597. DOI:10.1002/qj.828*

Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950 - 2006 // *Journal of geophysical research. - 2008. T.113. DOI:10.1029/2008JD010201*

Bergström S., and Forsman A. Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model // *Nordic Hydrology. 1973. T. 4. - № 3. C.147-170.*

Bergström S. The HBV model - its structure and applications (Rep.4). Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), 1992. 35 C.

Storn R. and Price K. Differential Evolution - a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces // *Journal of Global Optimization. 1997. № 11. C. 341 -359.*

Johansson B., Andreasson J., Jansson J. Satellite data on snow cover in the HBV model. Method development and evaluation // *Hydrology. 2003. № 90. 5 C.*

Виноградов А.Ю., Никифоровский А.А. Анализ соответствия критериев качества моделирования процессов формирования стока малых рек // *Вестник МГОУ. 2015. № 2, с.33 - 38.*

Shamseldin A.Y., O'Connor K.M. A NonLinear Neural Network Technique for Updating of River Flow Forecasts // *Hydrology and Earth System Sciences. 2001. T. 5. № 4. C. 577-597.*

Runoff modelling in a small mountainious watershed: the Mzymta river case study

Panysheva K. M.
Moscow State University, Moscow
hydrochristmas@gmail.com

Abstract: The science work is an attempt to adapt the physico-mathematical conceptual model HBV (Hydrologiska byråns vattenbalansavdelning) (Bergström, 1976) to the calculation of the daily dynamics of the runoff in a small mountainious watershed the river Mzymta river case study in the gauge Krasnaya Polyana. To perform the calculation of the daily dynamics layer flow in the work has been carried out to calibrate and validate the model for three periods: 1977 - 2002 (f), from 1977 - 1989 (h1) and from 1990 - 2002 (h2). According to the work`s results performed a study of the variability of the optimal model parameters that were implemented for the observations periods: f, h1, h2, 1977 - 1982 1978 - 1983, 1979 - 1984, etc. For the full period and each of these observations series were found optimal parameters for each of the constructed histogram, which conducted a study of the variability of parameters. According to the results obtained the optimal model parameters were calculated runoff dynamics in a gauge Krasnaya Polyana for all periods.

Keywords: conceptual model, runoff, model parameters, efficiency criterios.

Грани гидрологии при современном и перспективном использовании стока Верхней Оби

Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Кондакова О.В.
Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, Новосибирский филиал, Новосибирск
kondakova@iwep.nsc.ru

Аннотация: Целью данного исследования является анализ современной гидрологической обстановки на Верхней Оби по грани водохозяйственного использования стока. Разработка проектов гидроэнергетического использования рек бассейна р. Оби с учетом интересов водного транспорта, сельского хозяйства и обводнения рыбопромысловых озер началась в 30-х годах XX-го столетия. В 1959 году, после ввода в эксплуатацию всех агрегатов строящейся Новосибирской ГЭС создано водохранилище с полным объемом 8,8 км^3. Оно стало важным аккумулятором водных ресурсов Верхней Оби, обеспечивая их комплексное многоцелевое использование складывающимся водохозяйственным комплексом. Однако полезный объем водохранилища 4,4 км^3 с глубиной сработки 5 м от НПУ, позволяет осуществлять лишь неглубокое сезонное регулирование стока реки. В связи с тем, что Новосибирская ГЭС и водохранилище приобрели комплексное значение, режимы их работы в настоящее время зависят от объема стока Верхней Оби и требований всех основных водопользователей: городского водоснабжения, орошения, рыбного хозяйства, водного транспорта и энергетики. Особое внимание при использовании водных ресурсов водохранилища уделяется проблеме питьевого водоснабжения, которая в современных условиях является актуальной в связи прогрессирующем загрязнением водных объектов Сибири, обычно используемых одновременно как объекты водоотведения. В настоящее время основные проблемы рационального использования водных ресурсов Верхней Оби и возможной реконструкцией ее гидрологического режима связаны: с недостаточностью зарегулирования стока; увеличением повторяемости маловодных лет и маловодных циклов; уменьшением коэффициентов водообмена (особенно весеннего сезона), сокращением продолжительности стабилизации уровня воды в Новосибирском водохранилище на отметке НПУ; периодическим снижением уровня воды в водохранилище ниже УМО; «посадкой» уровней воды в р. Оби ниже плотины Новосибирской ГЭС. Выполненный анализ позволяет сделать вывод о необходимости увеличения регулирования стока Верхней Оби на участке реки от истоков до г. Камень-на-Оби в связи с наблюдающимся значительным снижением притока к Новосибирскому водохранилищу в период зимней межени в условиях природной водности обеспеченностью 60% и выше.

Ключевые слова: Верхняя Обь, Новосибирское водохранилище, регулирование стока, гидрологический режим, водохозяйственный комплекс, дефицит водных ресурсов, качество воды.

Введение

По регулированию водных ресурсов рек Россия находится на уровне Китая и Индии, отстает от США и Канады, при этом в России за 3 месяца весеннего половодья формируется 60% водных ресурсов, в Китае – 48%, Канаде – 46%, США – 35%, Бразилии – 32%. Однако вопросы регулирования стока рек в настоящее время в России практически не рассматриваются. Даже на Всероссийских форумах – Гидрологических съездах – прекратила работу секция «Регулирование стока».

В середине 50-х годов XX века, в бассейне Оби предусматривалось создать несколько ГЭС с водохранилищами: Батуринскую и Киреевскую севернее Новосибирска, на Средней Оби – Чулымскую, Тымскую и Вахкскую, а также ряд ГЭС на Катуни и её притоках (Васильев и др., 1990). Самой мощной ГЭС с подъемом уровня воды 170 м стала бы Катунская (Еландинская) ГЭС с контррегулятором – Чемальской ГЭС с напором 41 м. Как известно, ни ГЭС, ни водохранилища построены не были, и регулирование стока реки Оби в настоящее время ограничено Новосибирской ГЭС и водохранилищем.

Анализ современного и перспективного использования стока Верхней Оби

Новосибирское водохранилище – это единственный крупный искусственный водоем на реке Оби, созданный в конце 50-х годов XX века. Полный его объем составляет 8,8 км^3, полезный – 4,4 км^3 при среднемноголетнем стоке Верхней Оби в створе ГЭС 51,7 км^3. Полный объем водохранилища аккумулирует в среднем 17% годового стока Верхней Оби, а полезный – 8,6%. Протяженность водохранилища охватывает территорию Новосибирской области и Алтайского края. Влияние водохранилища распространяется вниз по протяжению реки на 600 км (до г. Колпашево), где зимний сток увеличивается на 32% от естественного.

Новосибирский гидроузел был построен с энергетической целью, так как в годы войны г. Новосибирск вырос в мощный индустриальный центр, испытывающий острую нехватку электроэнергии. По этой причине не начинались работы по электрификации Западно-Сибирской железной дороги, механизации сельского хозяйства, строго лимитировалось потребление энергии населением. Усиление в 70-х годах прошлого века общего антропогенного пресса на водные объекты Сибири, в частности на водные ресурсы Новосибирского водохранилища, привело к смене приоритета в использовании его водных ресурсов, в большей степени используемых в настоящее время для водоснабжения.

Опыт комплексного использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища в течение более 50 лет показал, что в современных гидрологических условиях отъема воды в верхнем бьефе и повышенных попусках в нижний бьеф, при обеспеченности по водности зимней межени более 60%, возможен годовой дефицит водных ресурсов полезного объема водохранилища от 1,0 до 1,5 км^3 (Многолетняя динамика…, 2014; Современное состояние…, 2012; Савкин, Двуреченская, 2014). Это приводит к вынужденному понижению уровня перед последующим наполнением (в марте-апреле) ниже уровня мертвого объема (УМО) на 0,5–1,5 м (рис. 1), что наносит ущерб, как водохозяйственному его использованию, так и сформировавшимся экосистемам водоема. Общее понижение уровня воды ниже УМО более чем на 1,5 м может повлечь остановку крупных водозаборов хозяйственно-питьевого назначения из водохранилища, оголовки которых расположены на недостаточном заглублении и требуют срочной реконструкции.

Наглядным примером может служить выход из строя водозабора в г. Бердске Новосибирской области в зимний период 2012 года. Только срочное инженерное решение этой проблемы, связанное с прокладкой временного водовода по льду от глубоководной части водохранилища до города, позволило избежать катастрофических последствий. Аналогичные условия складывались и на других водозаборах из водохранилища. Следует также учитывать и различное качество бетона уложенного в сооружения гидроузла. До уровня мертвого объема гидротехнические сооружения, в том числе бетонная плотина, выполнены из морозоустойчивого бетона, ниже – из обычного. Осушение части сооружений из обычного бетона в условиях отрицательных температур, может вызвать их разрушение и создать аварийную обстановку в целом на ГЭС. Кроме этого, сработка уровня воды ниже УМО приводит к возрастанию площади осушения части ложа водохранилища, что в свою очередь влечет увеличение величины её промерзания,

снижение запаса кислорода в воде и расширение распространения заморных явлений, сопровождающихся массовой гибелью рыбы.

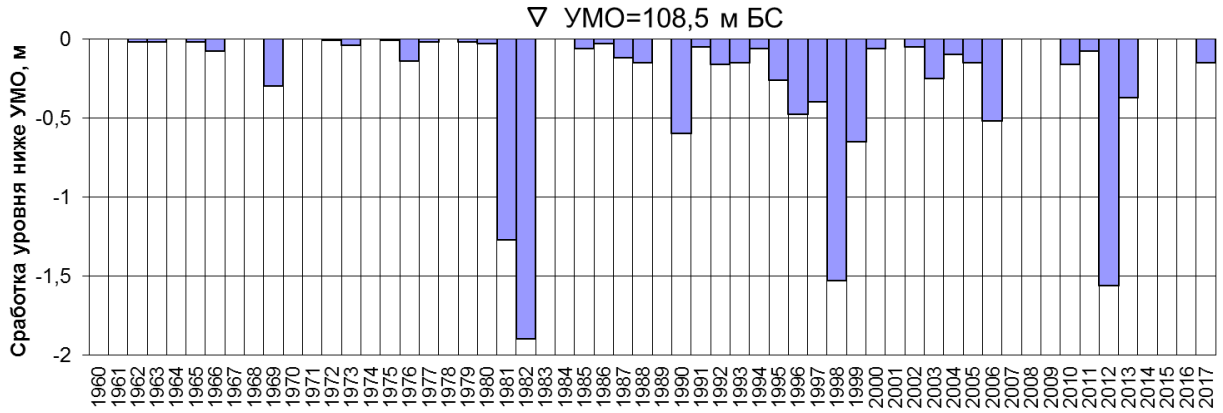


Рис. 1. Сработка уровня воды Новосибирского водохранилища ниже УМО за период эксплуатации

За период нормальной эксплуатации Новосибирского водохранилища (1960-2017 гг.) сработка уровня ниже УМО происходила в 37 годах из 58. Если в начале существования водохранилища понижение уровня воды ниже УМО носило эпизодический характер и составляло не более 0,15 м (за исключением экстремально маловодных на реках Сибири 1981 и 1982 гг.), то в последние десятилетия снижение уровня воды в водохранилище ниже УМО происходит практически ежегодно. В экстремально маловодные годы уровень срабатывался ниже отметки УМО более чем на 1,0 м: в 1981 г. – на 1,28 м, в 1982 г. – на 1,90 м, в 1998 г. – на 1,53 м и в 2012 г. – на 1,56 м.

Существенным обстоятельством, осложняющим работу водозаборов г. Новосибирска, расположенных ниже плотины ГЭС, в меженные периоды и обусловливающим повышенные попуски из водохранилища, является посадка уровней воды в р. Оби ниже плотины. Этот процесс вызван как влиянием водохранилища, являющегося своего рода отстойником для твердого стока и поставляющим в нижний бьеф осветленную воду, так и карьерными разработками песчано-гравийной смеси из русла реки для городских нужд. Посадка уровней по Новосибирскому водному посту, находящемуся на расстоянии 20 км ниже плотины, за период существования ГЭС составила более 1,6 м и, несмотря на прекращение добычи песчано-гравийных материалов, продолжается. В связи с этим реконструкция водозаборов г. Новосибирска возможно станет первоочередной гидрологической задачей, решаемой исходя из водохозяйственных и экологических условий.

В настоящее время основные проблемы рационального использования водных ресурсов Верхней Оби и реконструкции ее гидрологического режима связаны: с недостаточностью зарегулирования стока; увеличением повторяемости маловодных лет и маловодных циклов; уменьшением коэффициентов водообмена (особенно весеннего сезона с 3,11 до 3,03 и в целом за год с 6,62 до 6,43); сокращением продолжительности стабилизации уровня воды в Новосибирском водохранилище на отметке НПУ; периодическим снижением уровня воды в водохранилище ниже УМО; «посадкой» уровней воды в р. Оби ниже плотины Новосибирской ГЭС; режимами пропуска половодья и дождевых паводков из бассейна Катуни; недостаточным обеспечением водой комплекса потребителей водных ресурсов в маловодные периоды. Интересы отдельных участников водохозяйственного комплекса весьма противоречивы, причем возникшие противоречия обострены серией маловодных лет, еще больше усугубляющиеся увеличением забора воды на сельскохозяйственные нужды.

В случае создания Катунских водохранилищ (табл. 1) максимальные расходы Оби у г. Барнаула понизятся в 1,5 раза, а минимальные увеличатся в 4 раза. При этом во внутригодовом распределении стока возрастет доля межени: летне-осенней на 6%, зимней на 17%. Сток весеннего половодья уменьшится в многоводные годы на 16%, в средние по водности на 21%, в маловодные на 23%. Зимние расходы Оби у г. Новосибирска увеличатся на 200–250 м^3/с, или на 40–50% от гарантированных.

Табл. 1. Основные показатели Новосибирского водохранилища и перспективных крупных водохранилищ бассейна Верхней Оби

Водохранилище (река)	Среднегодовой расход в створе, м^3/с	Подпор, м	Полный объем, км^3	Полезный объем, км^3	Площадь водного зеркала, км^2	Площадь затопления, км^2	Протяженность, км	Амплитуда колебаний уровня, м	Среднемноголетний коэффициент водообмена	Участники ВХК
Новосибирское (Обь)	1670	19,8	8,8	4,4	1070	951	200	5,0	7,0	В,Э,О,Р,Т,И
Катунское (Катунь)	545	170	5,83	3,44	87	83,2	73	50	3,03	Э,О
Алтайское (Катунь)	545	50	0,21	0,18	12,1	7,5	25	45	80	Э,О
Чемальское (Катунь)	545	41	0,18	0,02	11,9	7,9	20	1,5	100	Э,П
Крапивинское (Томь)	942	44,7	11,7	9,7	670	658	133	23	3,76	П,В
Каменское (Обь)	1570	12	5,5	2,1	1000	900	190	6,5	2,4	П,И,ВЭ,Р
Примечание. Водохозяйственный комплекс (ВХК): Э – энергетика, Т – водный транспорт, И – ирригация, В – водоснабжение, Р – рыбное хозяйство, П – перераспределение стока, О – рекреация										

В случае создания Каменского водохранилища сток Оби до створа Новосибирского гидроузла во внутригодовом разрезе значительно выравнивается – максимальные расходы уменьшатся почти в 3 раза, а минимальные увеличатся в 5 раз. Весеннее половодье уменьшится с 74,4 до 34,5% в средние по водности годы, с 71 до 41% в многоводные. Сток летней межени увеличится в многоводные годы на 6%, в средние и маловодные до 12%, сток зимней межени возрастет с 5–7 до 30–34%.

В случае создания Крапивинского водохранилища расходы р. Томи, правого притока Оби, в период зимней межени в нижнем бьефе с обеспеченностью 50% увеличатся в 5 раз, а 95% обеспеченности возрастут с 50 до 500 м^3/с. Максимальные расходы снизятся в 1,5 раза, а во внутригодовом распределении характерно уменьшение на 20–40% весеннего половодья и на 20–25% увеличение зимней межени, на 12–15% летне-осенней.

Если проанализировать общее изменение стока Оби под влиянием существующих и перспективных водохранилищ, то доля трансформирующего влияния водохранилищ Катуни и Оби составит 75%, а Крапивинского на Томи – 20%. Кроме этого указанные водохранилища позволят увеличить имеющиеся водные ресурсы годового стока 75% обеспеченности на 3 км^3 (Васильев и др., 1990).

Наличие на реках водохранилищ обусловливает снижение содержания в воде взвешенных веществ, повышение ее прозрачности, уменьшение концентраций органических соединений и тяжелых металлов. Благодаря наличию обширных акваторий значительно улучшается аэрация вод, повышается интенсивность процессов самоочищения, особенно в летне-осенний период. Снижаются мутность, цветность, запах, окисляемость и загрязненность воды, выравниваются сезонные колебания качества речной воды, благодаря чему водозаборные станции работают равномерно в течение года (Савкин, Двуреченская, 2014).

На Новосибирском водохранилище, ставшем уникальным полигоном для выполнения комплексных исследований водных экосистем, изучены многолетние изменения гидролого-гидрохимического режима. Установлено, что в целом водохранилище

оказывает позитивное влияние на качество воды по гидрохимическим показателям: в основном происходит снижение загрязнения воды при её движении от входного створа к плотине и лишь для отдельных ингредиентов наблюдается некоторая динамика повышения, обусловленная как внутриводоемными процессами, так и антропогенной деятельностью на акватории и в прибрежной полосе (Двуреченская и др, 2001; Савкин и др., 2003). Так, увеличение концентраций нефтепродуктов в летний период, по-видимому, связано с использованием водохранилища для судоходства и маломерного флота, широко применяемого в рекреационных целях. Увеличение концентраций аммонийных соединений в нижнем бьефе в осенний период обычно связано с продолжающимся распадом органических веществ, содержащих азот, в условиях слабого или полного отсутствия их потребления фитопланктоном. Изменения величин $БПК_5$ связаны как с поступлением органических веществ со стоком р. Обь, так и с внутриводоемными процессами в самом водохранилище. Распределение концентраций главных ионов: кальция и гидрокарбонат-ионов определяется минерализацией воды водохранилища. Новосибирское водохранилище может служить примером формирования качества воды в крупной природно-техногенной системе под влиянием комплекса факторов.

Выводы

Регулирование водных ресурсов Верхней Оби Новосибирским водохранилищем ввиду его малой полезной емкости заметной срезки пика паводков не производит, поэтому максимальные расходы 0,1 и 0,01% обеспеченности практически не трансформируются. В сезоны с водностью выше средней высота уровня воды в водохранилище должна определяться исключительно безопасностью его гидротехнических сооружений. Ниже плотины, наряду с пропуском паводковой волны через агрегаты ГЭС, необходимо одновременно осуществлять сбросы воды через водосливную плотину, соблюдая верхнюю критическую отметку водомерного поста нижнего бьефа. Это позволит избежать подтопления жилого фонда города. Если в ближайшее время планируется применение нового нормативного документа «Правила использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища», разработанного АО «Ленгидропроект», следует учитывать, что в этом документе в маловодные годы рекомендуется предполоводная сработка уровня воды на 1,0 м ниже установленного ныне УМО. С этим категорически нельзя согласиться, так как такой гидрологический режим повлечет ряд негативных последствий для водных экосистем и гидротехнических комплекса сооружений.

Анализ современной гидрологической обстановки в бассейне Верхней Оби по грани водохозяйственного использования стока позволяет сделать вывод о необходимости увеличения регулирования на участке реки от истоков до г. Камень-на-Оби в связи с дефицитом водных ресурсов в условиях природной водности обеспеченностью 60% и выше. Это может быть достигнуто либо созданием выше Новосибирского водохранилища крупного водоёма с многолетним регулированием стока, либо строительством малых водохранилищ на притоках Катуни.

Работа выполнена в рамках Научной программы 134.1. "Исследование палео- и современных изменений состояния водоемов и водотоков Сибири, анализ природных и антропогенных изменений для стратегии охраны, использования и обеспечения безопасности водных ресурсов Сибири".

Список литературы

Васильев О.Ф., Бураков Д.А., Вострякова Н.В., Малик Л.К., Савкин В.М., Юфит Т.Н. Перспективы регулирования стока в Обь-Иртышском бассейне в связи с мелиоративным освоением территории // Гидрологическое обоснование водохозяйственных мероприятий. Труды V Всесоюзного гидрологического съезда, т. 4, Л.: Гидрометеоиздат, 1990: 159-169

Двуреченская С. Я., Савкин В. М., Смирнова А. И., Булычева Т. М. Динамика гидролого-гидрохимических характеристик экосистемы Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал, № 2, 2001: 231–236

Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / Отв. ред. О.Ф. Васильев; Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014: 393

Савкин В. М., Двуреченская С. Я. Ресурсные и водно-экологические проблемы комплексного использования Новосибирского водохранилища // Водные ресурсы, Т. 41, № 4, 2014: 456–465

Савкин В. М., Двуреченская С. Я., Орлова Г. А., Булычева Т. М. Формирование гидролого-гидрохимического режима Верхней Оби на участке Новосибирского водохранилища в условиях изменения природно-техногенной ситуации // Сибирский экологический журнал, Т. 10, № 2, 2003: 171–179

Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / Отв. ред. Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2012: 242

Hydrological aspects of present and perspective use of water resources of Upper Ob

Savkin V.M., Dvurechenskaya S.Ya., Kondakova O.V.

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk Department, Novosibirsk

kondakova@iwep.nsc.ru

Abstract: The analysis of the present hydrological situation on the Upper Ob on the verge of water management use of runoff was carried out. The development of hydropower engineering projects of the Ob River basin, taking into account interests of water transport, agriculture, flooding of fishing lakes began in the thirties of 20th century. In 1959 Novosibirsk reservoir with a total capacity of 8,8 km^3 was created after putting into operation all the units of Novosibirsk hydropower plant. It has become an important accumulator of water resources of the Upper Ob, providing their integrated multi-purpose use by the developing water-resources complex. The useful volume of the reservoir is 4,4 km^3 with an available depth 5 m from the normal maximum operating level which allows only a shallow seasonal flow control. The Novosibirsk hydropower plant and the reservoir have acquired a complex significance and operating regimes now depend on the Upper Ob River runoff and the requirements of principal water users: urban and drinking water supply, irrigation, fisheries, water transport and energetic. Main problems of the rational use of water resources of the Upper Ob and possible reconstruction of its hydrological regime are related to the poor regulation of the flow; the increase of the frequency of low-water years and low-water cycles; reducing of water exchange coefficients (especially in spring), reduction in the duration of stabilization of the water level in the Novosibirsk reservoir at the normal maximum operating level; periodic decrease of the water level of the reservoir below the dead water level; sinking of the water level in Ob river below the dam. The additional flow control from the river head to Kamen-on-Ob in connection with the significant decrease of inflow during the winter low water at natural water availability of 60% and more is required.

Keywords: Upper Ob, Novosibirsk reservoir, flow control, hydrological regime, water quality, water supply deficit, multipurpose water-resources scheme

Причины и скорости заиления малых водохранилищ на сельскохозяйственно освоенных территориях (на примере р. Лещинки, Курская область)

***Сёмочкина А.Е.*, Беляев В.Р., Иванов М.М., Гуринов А.Л.**
Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Москва
s_anna15@mail.ru

Аннотация: В данном исследовании сделана попытка количественно оценить интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов (ЭАП) на различных геоморфологических позициях на малом водосборе верховьев р. Лещинки (Тимский район Курской области, бассейн Сейма) в последние десятилетия, выявить вклад ЭАП в заиление малого водохранилища и определить его скорость.

Темпы ЭАП на водосборных склонах, в малых эрозионных формах и главной долине выше пруда были оценены на основе изучения содержания и распределения по глубине ^{137}Cs. Темпы смыва и аккумуляции с распаханной части водосбора составляют в среднем 28,8 т/га/год и 28,5 т/га/год соответственно. Масса смытой почвы – 148460,8 т/год. По данным расчётов по цезиевому методу аккумулятивную статью баланса наносов составляют: аккумуляция в ложбинах в пределах распаханных склонов – 16%, нераспаханные долины балок – 18,8 %, сам пруд – 4,5% и главная долина – 40%. Основная аккумуляция наносов происходит в днище главной долины и приводит к заилению водотока и малого водохранилища в нижней части верхнего течения реки.

Ключевые слова: малые водохранилища, заиление, эрозия почв, эрозионно-аккумулятивные процессы, наносы.

Введение

Сельскохозяйственная деятельность человека неблагоприятно влияет на состояние земель, что в первую очередь выражается в деградации почв в результате развития эрозии почв. Продукты смыва почв с распаханных водосборных склонов поступают в верхние звенья гидрографической сети, что вызывает такие негативные процессы, как деградация малых рек и заиление водохранилищ. Малые реки - наиболее динамичное и уязвимое звено гидрографической сети, так как они непосредственно связаны с верхними звеньями эрозионной сети и в первую очередь испытывают последствия воздействия на водосборы (Голосов В.Н. и др., 1992). Кроме того, малые реки низких порядков играют транзитную роль в эрозионной цепочке, что влияет на экологическое состояние рек более высоких порядков.

В данном исследовании сделана попытка количественно оценить интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов (ЭАП) на различных геоморфологических позициях на малом водосборе верховьев р. Лещинки (Тимский район Курской области, бассейн Сейма) в последние десятилетия, выявить вклад ЭАП в заиление малого водохранилища и определить его скорость.

Материалы и методы

В бассейне реки Лещинки было проведено почвенно-морфологическое описание строения почв и отобраны пробы для анализа содержания ^{137}Cs. Исследования проводились на двух опорных участках на геоморфологически стабильных позициях отобрано по 12 интегральных образцов для оценки разномасштабной пространственной вариабельности запасов. В правобережной части водосбора Лещинки изучен склон ниже д. Рождественка отобраны пробы по нерегулярной сетке точек, которые располагались на пашне на склоне и по тальвегам ложбин, а также в задернованном аккумулятивным днище отвершка балки. В пруду, расположенном в замыкающем створе исследуемой части

бассейна в деревне Стародубцево, был выполнен отбор 5 колонок донных отложений для визуального описания и анализов содержания ^{137}Cs и тяжелых металлов в сочетании с георадарным профилированием с поверхности ледяного покрова в зимний период.

Для дешифрирования структуры землепользования использовались космические снимки BingSat, LandSat. Время заполнения пруда было определено по разновременным космическим снимкам как 1986 г., период активного сельскозяйственного освоения территории по историческим картам и документам составляет примерно 185 лет.

Результаты и выводы

Река Лещинка – водоток 5 порядка (по Хортону) с площадью водосбора в исследуемом верхнем течении 110,718 км^2. Исследуемый объект находится на западном макросклоне Среднерусской возвышенности и представляет собой равнинную территорию с густотой эрозионного расчленения ~1,34 км/км2 и перепадами высот до 80 м. Главные элементы рельефа - долина реки Лещинки с прудом; склоны крутизной до 9° (преобладают до 3°), расчлененные многочисленными пологими ложбинами в пределах пашни (гофрировка склонов по простиранию), оврагами и балками, выходящими на пойму реки; выровненные плакорные участки с наименее нарушенной структурой почвенного покрова. В современной структуре землепользования выделяются пахотные земли (включая залежи), занимающие наибольшую площадь, эрозионная сеть, лесопосадочные полосы и жилая застройка (рис.1а).

Установлено, что мощность донных отложений в Стародубцевском пруду составляет в среднем 30-40 см. С учетом известного возраста пруда, скорость осадконакопления в нем составляет около 1,2 см/год. При средней площади зеркала пруда около 0,46 км^2, суммарный объем аккумулировавшихся в нем наносов за 30 лет может быть приблизительно оценен в 165600 м^3 или, для средней плотности 1200 кг/м^3 – 198720 т. Среднегодовое поступление наносов в пруд может быть оценено как 6624 т/год, что соответствует интенсивности смыва со всей площади водосбора пруда (110,718 - 0,457 (меженная площадь самого пруда) =110,261 км^2) 60,1 т/км^2/год или ≈0,6 т/га/год. Следовательно модуль сноса с распаханной части водосбора (≈79,1 км^2 – площадь пашни с залежами) ≈0,84 т/га/год.

Темпы ЭАП на водосборных склонах, в малых эрозионных формах и главной долине выше пруда были оценены на основе изучения содержания и распределения по глубине ^{137}Cs. Темпы смыва и аккумуляции с распаханной части водосбора составляют в среднем 28,8 т/га/год и 28,5 т/га/год соответственно. Масса смытой почвы –148460,8 т/год. Выделяется три возможных позиции переотложения вещества: склоны водосбора, овражно-балочная сеть и главная долина. По данным расчётов по цезиевому методу аккумулятивную статью баланса наносов составляют (рис.1б): аккумуляция в ложбинах в пределах распаханных склонов – 16%, нераспаханные долины балок – 18,8 %, сам пруд – 4,5% и главная долина – 40%, оставшиеся 20,7% уходят во время половодий через плотину в нижнее течение.

Таким образом, значительная доля смытого со склонов материала аккумулируется в днище долины р. Лещинки и приводит к заилению водотока. Частично эти осадки во взвешенном состоянии поступают в пруд, который так же принимает материал со склонов своего водосбора. Наносы накапливаются в пруду со скоростью 1,2 см/год, что приводит к заилению малого водохранилища.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-05-01118_а)

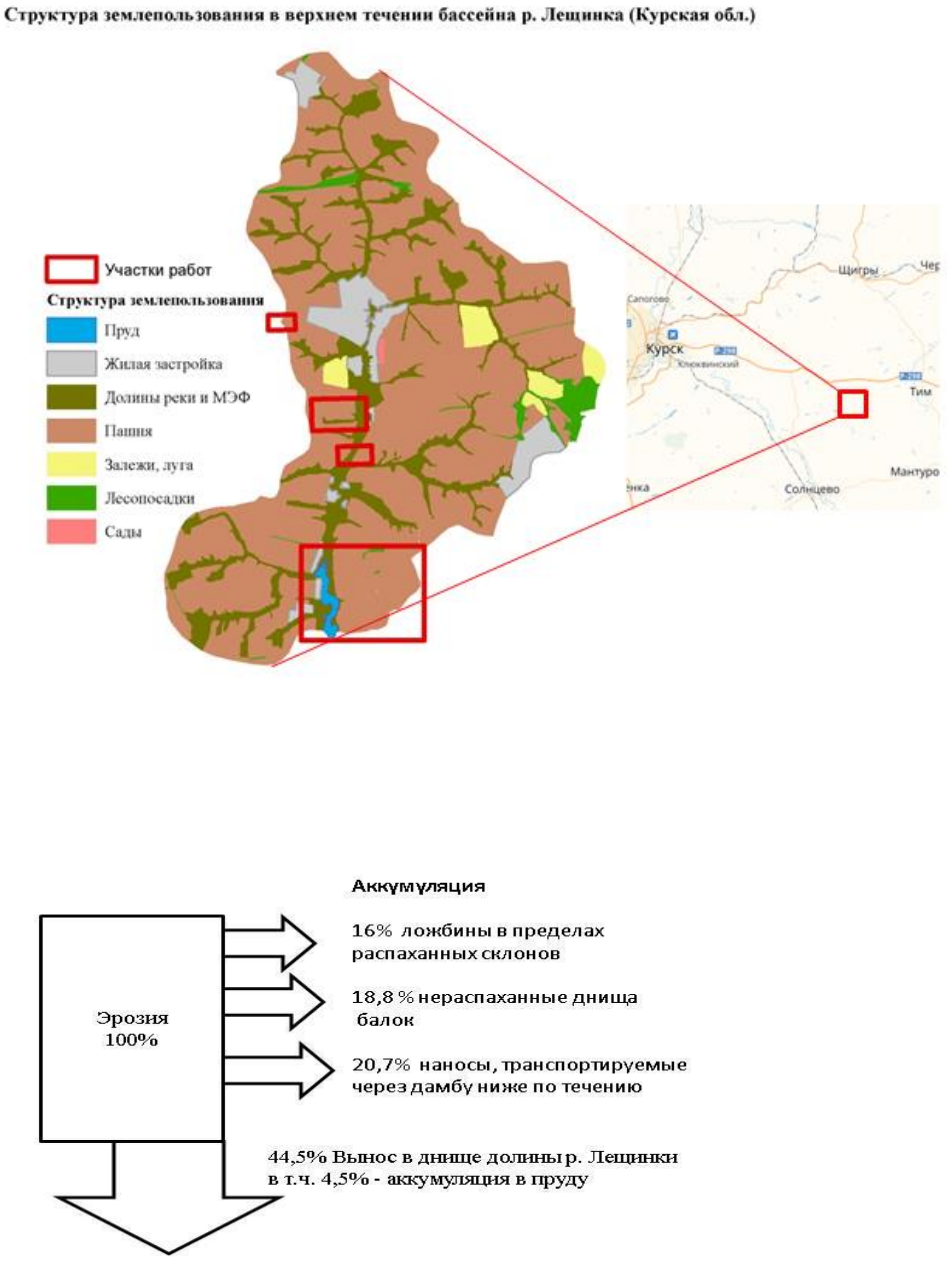


Рис.1. а – структура землепользования в верхнем течении бассейна р. Лещинка (Курская область) б – баланс наносов в верхнем течении бассейна р. Лещинка

Табл. 1. Темпы эрозионно-аккумулятивных процессов на разных геоморфологических позициях

Позиция	Количество точек пробоотбора	Средний запас Cs-137, Бк/кв.м	Темпы смыва, т/га/год	Темпы аккумуляции, т/га/год
Геоморфологически стабильные плакорные участки	24	6641	0	0
Распаханные склоны до 5 градусов	50	2832	33,8	0
Тальвеги ложбин в пределах распаханных склонов	18	А-14500 Э-4835	33,2	20,04
Напаши	8	3379	27	0
Нераспаханные днища МЭФ	8	А-10050 Э-4161	21,5	23,5
Пойма Лещинки	1	15000	0	69,9
Пруд	10	-	-	0,6
Среднее	-	-	28,875	28,51

Список литературы

Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Литвин Л.Ф., Сидорчук А.Ю. Баланс наносов в речных бассейнах и деградация рек Русской равнины//Геоморфология. – 1992. - №4. – с. 62-72.

Голосов В.Н., Маркелов М.В., Беляев В.Р., Жукова О.М. Проблемы определения пространственной неоднородности выпадений ^{137}Cs для оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов. Метеорология и гидрология. 2008. № 4. С. 30-45.

Siltation causes and rates of small reservoirs on agricultural territories (Leschinka river, Kursk region)

***Semochkina A.E.*, Belyaev V.R., Gurinov A.L., Ivanov M.M.**
Moscow State University, Moscow
s_anna15@mail.ru

Abstract: This research is an attempt to estimate of erosion and sedimentation processes on different geomorphological position in the upstream of small river Leschinka (Kursk region) catchment area, identify its investment in siltation of reservoir and calculate its rates. Assessment of erosion and sedimentation rates was based on analysis of Cesium-137 supply in soil, they are 28,8 and 28,5 t/ha/year respectively (in average). Mass of eroded soil is 148 468,8 t/year. The accumulative part of sediment balance contains from sedimentation on: plowed slopes, unplowed valleys of ravines, the pound and main valley. The main amount of sediments accumulates in the bottom of the Leschinka valley which is the cause of its siltation and siltation of small reservoir (the pound).

Keywords: small reservoirs, siltation, sediments, soil erosion, sediment accumulation

Проверка статистических гипотез при анализе гидрологических рядов

Сикан А.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет,
kafedra_gs@rshu.ru

Аннотация: В работе анализируются статистические критерии для проверки гидрологических рядов на независимость, стационарность и однородность.

Ключевые слова: гидрологические расчеты, временные ряды, стационарность, независимость, однородность, статистические критерии.

Расчет расходов воды естественных водотоков заданной обеспеченности включает несколько этапов. На начальном этапе анализа необходимо выполнить проверку гидрологических рядов на стационарность и независимость. Такая проверка необходима для корректного выбора математической модели, описывающей вероятностную структуру имеющихся рядов. В наиболее простом случае ряд рассматривается как реализация стационарного случайного процесса с независимыми сечениями.

Стационарными (в широком смысле) считаются ряды, у которых математическое ожидание постоянно, а корреляционная функция – есть функция сдвига между аргументами: $r(t_1, t_2) = r(\tau)$, где $\tau = (t_2 - t_1)$. Поскольку при $\tau = 0$ корреляционная функция равна дисперсии, то у стационарных рядов дисперсия тоже постоянна.

В настоящее время в результате изменений климата и возрастающей антропогенной нагрузки на речные водосборы многие гидрологические ряды являются нестационарными. При этом наиболее часто нестационарность проявляется в виде монотонного тренда математического ожидания.

Для проверки рядов на стационарность и независимость разработано много критериев, достаточно полный обзор которых представлен в работе (Кобзарь, 2006). Но на практике целесообразно пользоваться минимальным набором критериев, обладающих наибольшей мощностью.

Под мощностью подразумевается вероятность отклонения нулевой гипотезы при условии, что она является ложной (Закс,1976). При этом мощность любого критерия зависит от длины анализируемой выборки и от того насколько сильно различаются нулевая и альтернативная гипотезы.

В настоящей работе для проверки рядов на стационарность и независимость были исследованы 4 критерия: критерий значимости коэффициента корреляции, критерий инверсий, критерий Вальда-Вольфовица и критерий значимости коэффициента автокорреляции. Ниже представлено краткое описание этих критериев.

Критерий значимости коэффициента корреляции

Для проверки гипотезы об отсутствии в выборке монотонного тренда в российской гидрологической практике наиболее часто применяется критерий значимости коэффициента корреляции (Закс,1976) для зависимости $x = f(y)$, где y – время или порядковый номер (ряд не ранжируется). Стандартная ошибка коэффициента парной корреляции рассчитываются по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}. \qquad (1)$$

Гипотеза об отсутствии монотонного тренда не опровергается если

$$|R| / \sigma_R < t_{1-\alpha}, \qquad (2)$$

где R – коэффициент парной корреляции; $t_{1-\alpha}$ – квантиль стандартного распределения Стьюдента при числе степеней свободы $\nu = (n-2)$; n – длина выборки; 2α – двухсторонний уровень значимости. Критерий рекомендуется применять при $n > 30$.

Критерий инверсий

Одним из самых мощных непараметрических критериев при проверке стационарности является критерий инверсий. Здесь используется статистика I, которая представляет собой общее число инверсий (Кобзарь, 2006).

Инверсия имеет место, если в выборке не ранжированных значений $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$, за некоторым x_i следует меньшее по величине значение x_j, где $i < j \le n$. Если таких значений несколько, то для данного x_i фиксируется несколько инверсий. Например, для выборки (14, 21, 8, 16, 11) первый член ряда имеет 2 инверсии (14 > 8; 14 > 11), второй член ряда имеет 3 инверсии (21 > 8; 21 > 16; 21 > 11), третий член ряда имеет 0 инверсий, четвертый – 1 инверсию (16 > 11). Таким образом, общее число инверсий $I = 2 + 3 + 0 + 1 = 6$.

Статистика I распределена асимптотически нормально с математическим ожиданием

$$m_I = \frac{n(n-1)}{4} \tag{3}$$

и дисперсией

$$D_I = \frac{2n^3 + 3n^2 - 5n}{72}. \tag{4}$$

При объеме выборки $n > 30$ отклонением статистики I от нормального закона можно пренебречь. Гипотеза о независимости и стационарности не опровергается если

$$\frac{|I - m_I|}{\sqrt{D_I}} < t_{1-\alpha}, \tag{5}$$

где $t_{1-\alpha}$ – квантиль стандартного нормального распределения; 2α – двухсторонний уровень значимости.

Критерий Вальда-Вольфовица

Для проверки независимости и стационарности гидрологических рядов в Руководстве ВМО (№168, 2012) рекомендуется критерий Вальда-Вольфовица (*Wald, Wolfowitz*, 1943). Формула критерия Вальда-Вльфовица имеет вид:

$$Z = \sum_{i=1}^{i=n-1} x_i x_{i+1} + x_n x_1 \tag{6}$$

где x_i – значения исследуемой гидрологической характеристики.

Статистика Z распределена асимптотически нормально с математическим ожиданием

$$m_z = \frac{S_1^2 - S_2}{n-1} \tag{7}$$

и дисперсией

$$D_z = \frac{S_2^2 - S_4}{n-1} + \frac{S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4}{(n-1)(n-2)} - \left(\frac{S_1^2 - S_2}{n-1}\right)^2, \tag{8}$$

где $S_m = x_1^m + x_2^m + x_3^m + \ldots + x_n^m$

Гипотеза о независимости и стационарности не опровергается если

$$\frac{|Z - m_z|}{\sqrt{D_z}} < t_{1-\alpha}, \tag{9}$$

где $t_{1-\alpha}$ – квантиль стандартного нормального распределения; 2α – двухсторонний уровень значимости.

Считается, что при объеме выборки $n > 20$ отклонением статистики Z от нормального закона можно пренебречь.

Чтобы при суммировании избежать слишком больших значений, целесообразно перед проведением теста перейти от значений исходной выборки к модульным коэффициентам и применять формулы (6-9) к ряду модульных коэффициентов.

Критерий значимости коэффициента автокорреляции

Для проверки независимости членов выборки в российской гидрологической практике наиболее часто применяется критерий значимости коэффициента автокорреляции, r (Кобзарь, 2006):

Статистика r распределена асимптотически нормально с математическим ожиданием

$$m_r = -1/(n-1) \tag{13}$$

и стандартной ошибкой

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{n(n-3)}{(n+1)(n-1)^2}}. \tag{14}$$

Коэффициент автокорреляции незначим если:

$$\frac{|r - m_r|}{\sigma_r} < t_{1-\alpha}, \tag{14}$$

где $t_{1-\alpha}$ – квантиль стандартного нормального распределения; 2α – двухсторонний уровень значимости.

При исследовании критериев выполнялось моделирование искусственных рядов методом Монте-Карло (Соболь, 1973). Было смоделировано 1000 выборок. Каждая выборка состояла из 70 значений. Такая продолжительность выбрана в связи с тем, что в России максимальная продолжительность непрерывных рядов в большинстве случаев не превосходит 70 лет (с середины 40-х годов XX века по настоящее время). Более продолжительные ряды имеют перерывы, которые приходятся на годы гражданской и Великой Отечественной войн.

В качестве базового распределения использовалось двухпараметрическое гамма-распределение для которого отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации $C_s/C_v = 2$, что характерно для многих гидрологических рядов.

Вначале моделировался стационарный ряд с заданными параметрами C_v и m_x. Затем к этому ряду прибавлялись различные типы трендов математического ожидания: линейный, экспоненциальный и циклический.

По каждому ряду выполнялась оценка мощности каждого из четырех критериев. Средние значения мощности критериев представлены в таблице.

Как видно из таблицы, наибольшей мощностью при оценке монотонных трендов обладают критерий инверсий и критерий значимости коэффициента корреляции.

При выделении тренд-циклической компоненты наибольшей мощностью обладают критерий значимости коэффициента автокорреляции и критерий Вальда-Вольфовица.

Следует отметить, поскольку в качестве базового распределения использовалось не нормальное распределение, а асимметричное – непараметрические критерии инверсий и Вальда-Вольфовица вполне могут конкурировать по мощности с параметрическими (см. табл.1).

Так как ряды речного стока при шаге дискретности 1 год не содержат периодической компоненты, критерий Вальда-Вольфовица и критерий значимости коэффициента автокорреляции можно использовать для выявления автокоррелированности, которая в большинстве случаев описывается с помощью стационарных моделей типа авторегрессии и скользящего среднего (АРСС) (*Бокс, Дженкинс*, 1974). В этом случае основные этапы

проверки ряда на стационарность и независимость можно представить в виде блок-схемы, приведенной на рисунке (этапы I и II).

Табл. 1. Средняя мощность различных критериев (%) в зависимости от типа нестационарности при n = 70

Критерий	Тип тренда			
	линейный	экспоненциальный	циклический (I цикл)	циклический (II цикла)
инверсий	**92**	**87**	47	47
значимости коэффициента *R*	**89**	**81**	45	46
Вальда-Вольфовица	59	58	**96**	**93**
значимости коэффициента *r*	60	57	**97**	**96**

Рис. 1. Блок-схема трехэтапной проверки ряда на стационарность и независимость с оценкой тренд-циклической компоненты (H0 – нулевая гипотеза).

В рядах уровней крупных озер, обладающих большой инерционностью, может содержаться низкочастотная тренд-циклическая компонента, отражающая плавные колебания климата. Такие ряды не являются инвариантными по отношению к сдвигу автокорреляционной функции, то есть являются нестационарными. В этом случае проверка на стационарность и независимость становится трехэтапной (см. рисунок).

На третьем этапе производится анализ спектральной плотности исследуемого ряда или его автокорреляционной функции. В начале, выдвигается гипотеза о том, что ряд можно описать с помощью стационарных моделей типа АРСС. Если нулевая гипотеза опровергается, то ряд признается нестационарным и для его описания следует использовать более сложные модели, например, АРПСС или дробного шума (Румянцев и др., 2008).

Помимо трендов, нестационарность могут вызывать «скачки» математического ожидания или дисперсии. Например, при строительстве на реке водохранилища или в результате быстрой урбанизации водосбора статистические характеристики ряда изменяются, причем это происходит за относительно короткий период времени.

В этом случае удобнее трактовать ситуацию, как переход от одного квазистационарного периода к другому квазистационарному периоду и рассматривать ряд как неоднородный.

Для проверки таких рядов в России традиционно используются критерии однородности Фишера и Стьюдента (Методические рекомендации, 2010), которые являются обязательными при выполнении инженерных расчетов.

Особый случай генетической неоднородности – «выбросы». Выбросом называется значение, резко отклоняющееся от основной группы точек в области больших или малых обеспеченностей. Возможны две причины такого отклонения: 1) в относительно короткой выборке содержится значение очень редкой повторяемости; 2) отклонившаяся точка относится к другой генеральной совокупности (т. е. ряд неоднороден). Новый критерий для анализа выбросов представлен в работе (Сикан, 2014).

Список литературы

Бокс Дж., Дженкинс Г. – Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Пер. с англ.– М.: Мир, 1974, кн. 1.– 406 с.

Документ ВМО №168. Руководство по гидрологической практике. Том 2. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов, шестое издание, 2012.

Закс Л. Статистическое оценивание. Пер. с нем. – М.: Статистика, 1976.– 600 с.

Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.– 816 с.

Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным.– СПб.: Нестор-История, 2010.– 162 с.

Румянцев В.А. Стохастические модели гидрологических процессов/ В.А. Румянцев, Ю.А. Трапезников; ИНОЗРАН. – СПб.: Наука, 2008.– 152 с.

Сикан А.В. Методика построения усеченных кривых обеспеченностей при расчете минимальных расходов и уровней воды. // Ученые записки РГГМУ, 2014, № 37, с. 19-27.

Соболь И. М. Численные методы Монте-Карло.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 1973.– 312 с.

Wald A., J. Wolfowitz, 1943. An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation. Ann. Math. Statist., Vol. 14, p. 378-388.

Testing of statistical hypotheses in the analysis of hydrological series

Sikan A.V.
Russian State Hydrometeorological University
kafedra_gs@rshu.ru

Abstract: The paper analyzes the statistical criteria for testing the hydrological series independence, stationarity and homogeneity.

Keywords: hydrological design, time series, independence, stationarity, homogeneity, statistical criteria.

Инженерные изыскания, направленные на организацию всесезонной трассы в районе российской станции Прогресс, Восточная Антарктида, в сезон 63-й РАЭ (2017/18 г.)

***Суханова А.А.*[1], *Попов С.В.*[2], *Григорьева С.Д.*[1]**
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
[2]*АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург*
nastya21622162@gmail.com

Аннотация: В настоящей работе представлены результаты инженерных изысканий, выполненных в ходе летнего полевого сезона 63-й Российской антарктической экспедиции на участке между полевыми базами Прогресс-1 и Прогресс-3 (холмы Ларсеманн (Larsemann Hills), Восточная Антарктида) в период с 4 по 24 января 2018 года. Исследования были направлены на поиск места для организации новой всесезонной трассы между российской станцией Прогресс и пунктом формирования санно-гусеничных походов во внутренние районы Антарктиды. Необходимость инженерных изысканий обусловлена прорывом подледникового озера, расположенного в западной части ледника Долк (Dålk Glacier), которое произошло 30 января 2017 года. Образовавшийся на его месте провал размером 183×220 м разрушил участок старой трассы. В ходе полевого сезона выполнено георадиолокационное профилирование на частотах 150 МГц и 900 МГц с целью выявления особенностей строения ледника, в частности трещин и внутриледниковых водных масс. Согласно полученным данным, исследованный участок в целом безопасен для организации транспортного сообщения. Новая дорога была одобрена руководством станции Прогресс 19 января 2018 года, а уже 24 января, после обвеховки и укатки пути в обход провала, трасса была принята к эксплуатации.

Ключевые слова: Восточная Антарктида, станция Прогресс, георадиолокационное профилирование, логистическое обеспечение, транспортные операции, прорывные паводки, ледниковые трещины

Введение

В течение всего времени существования сначала Советской, а затем и Российской антарктической экспедиции (РАЭ), функционирование станций, полевых баз и лагерей во многом зависело от организации транспортных операций и логистического обеспечения. Все отечественные станции, за исключением действующей внутриконтинентальной станции Восток, расположены в прибрежной части материка на свободных ото льда территориях. Однако в непосредственной близости от них имеются обширные ледники, для которых характерны высокие скорости течения. Это приводит к образованию трещин, достигающих порой нескольких десятков метров в ширину. (Пряхин и др., 2015; Попов и Поляков, 2016). В частности, они имеются в районе станции Прогресс и пересекают трассу следования санно-гусеничных походов на станцию Восток. Их своевременное выявление, а также выяснение особенностей динамики ледника для прогнозирования возможного образования трещин является важным аспектом деятельности РАЭ для обеспечения безопасности транспортных операций.

Не менее важным является изучение и мониторинг водоёмов, расположенных вблизи инфраструктуры РАЭ в непосредственной близости от снежников и ледников. Прикладной интерес к этому обусловлен потенциальной возможностью их переполнения талой водой и катастрофическими прорывами, которые могут приводить к разрушениям строений и коммуникаций, а, подчас, и к человеческим жертвам. Примером является прорыв подледникового озера, расположенного в краевой части ледника Долк с последующим образованием огромного провала размером 183×220 м (Popov et al., 2017).

Возникновение провала в леднике Долк 30 января 2017 года стало причиной разрушения участка дороги, соединяющей станции Прогресс (Россия) и Зонгшан (Китай) с аэродромом и пунктом формирования российских и китайских санно-гусеничных походов во внутренние районы

Антарктиды. К счастью, это катастрофическое событие обошлось без человеческих жертв, однако нарушение транспортного сообщения побудило руководство станции к поиску новых вариантов трассы. В зимний период была организована новая временная дорога вдоль северо-западного берега озера Прогресс, а в тёплый летний период передвижение гусеничной техники первое время осуществлялось с западной стороны провала через каменистые склоны скал. Оба варианта имеют значительные недостатки. Трасса вдоль берега озера пересекает узкую, но довольно глубокую его часть. Во время зимнего периода этот путь является безопасным ввиду наличия мощного ледового покрова на поверхности озера, но в летнее время из-за интенсивного приповерхностного таяния толщина льда уменьшается до предельных значений, недопустимых для проезда транспортной техники. Неудобство пути с западной стороны провала обусловлено тем, что он проходит через каменистые склоны, характеризующиеся значительными уклонами, достигающими 35° (рис. 1а). Поэтому он является труднопроходимым для гусеничной техники, в частности Kässbohrer Pisten Bully Polar, широко используемой для транспортных операций. Кроме того, их передвижение по каменистым склонам приводит к преждевременному износу ходовой части, которая предназначена для использования на снежниках и ледниках. Вследствие этого руководством РАЭ была поставлена задача поиска новой безопасной трассы. В силу характера рельефа местности, единственным оптимальным вариантом для неё стал участок ледника Долк в обход образовавшегося провала.

Методика выполнения работ

Для решения поставленной задачи, в районе провала были проведены рекогносцировочные работы для оценки текущего состояния ледника. Визуальная оценка показала, что с момента возникновения провала вокруг него образовалась обширная система трещин, простирающихся субпараллельно его восточному борту и в большинстве своём заполненных водой либо льдом. Кроме того, в этом районе наблюдались обводнённые участки, свидетельствующие о возможном наличии полостей в теле ледника, которые могут представлять опасность для движения техники. Также на участке планируемой дороги между полевыми базами Прогресс1 и Прогресс-3 в летние периоды ввиду интенсивного таяния образовывались скопления талой воды под снежным покровом, порой достигающие размеров 200×300 м. Для обоснованного выбора наиболее безопасного пути в обход провала требовалось проведение инженерных изысканий как на участке вокруг провала, так и на территории между полевыми базами.

В период с 4 по 24 января 2018 года на участке в обход провала на леднике Долк были проведены обширные комплексные геодезические, гляциологические, гидрологические и геофизические работы. Последние включали в себя георадиолокационное профилирование, которое осуществлялось с использованием георадаров ОКО-2 (ООО «Логические системы», Россия) на частоте 150 МГц и GSSI (Geophysical Survey Systems Inc., USA) с системным блоком SIR3000 на частоте 900 МГц. Использование лоцирования на этих частотах позволило детально изучить приповерхностную часть ледника, сохранив при этом достаточную глубинность измерений. Движение по маршрутам осуществлялось пешим порядком (рис. 1в). Плановая привязка пунктов зондирований выполнялась при помощи приемоиндикатора Garmin GPSmap 64st. Общий объём георадарной съёмки составил около 10 пог. км. Схема расположения маршрутов представлена на рис. 1а.

Результаты работ

Несмотря на то, что район работ визуально воспринимается непроходимым ввиду наличия обширной системы трещин, дистанционные исследования доказали её безопасность. На рис. 1г представлен фрагмент временного георадарного разреза АВ, полученного по одному из наиболее ответственных участков трассы. В его правой части имеются многочисленные дифрагированные волны *1*, сформированные вертикальными стенками трещин. Следует отметить, что классификация трещин по степени опасности для транспортной техники и людей на настоящий момент находится на стадии разработки. Однако согласно многолетнему опыту нарушения целостности в теле ледника шириной до полуметра, при соблюдении мер техники безопасности, не представляют значительной угрозы. Визуальная оценка и результаты георадарных исследований показали, что трещины значимого размера на трассе отсутствуют и в большинстве своем заполнены талой водой

либо льдом *2*. Кроме того, согласно полученным данным (рис. 1г), в теле ледника не выявлены какие-либо пустоты, способные стать причиной возникновения провалов, подобных образовавшемуся в конце января 2017 года. Таким образом, на основании полученных данных, исследованный участок трассы представляется безопасным в эксплуатации.

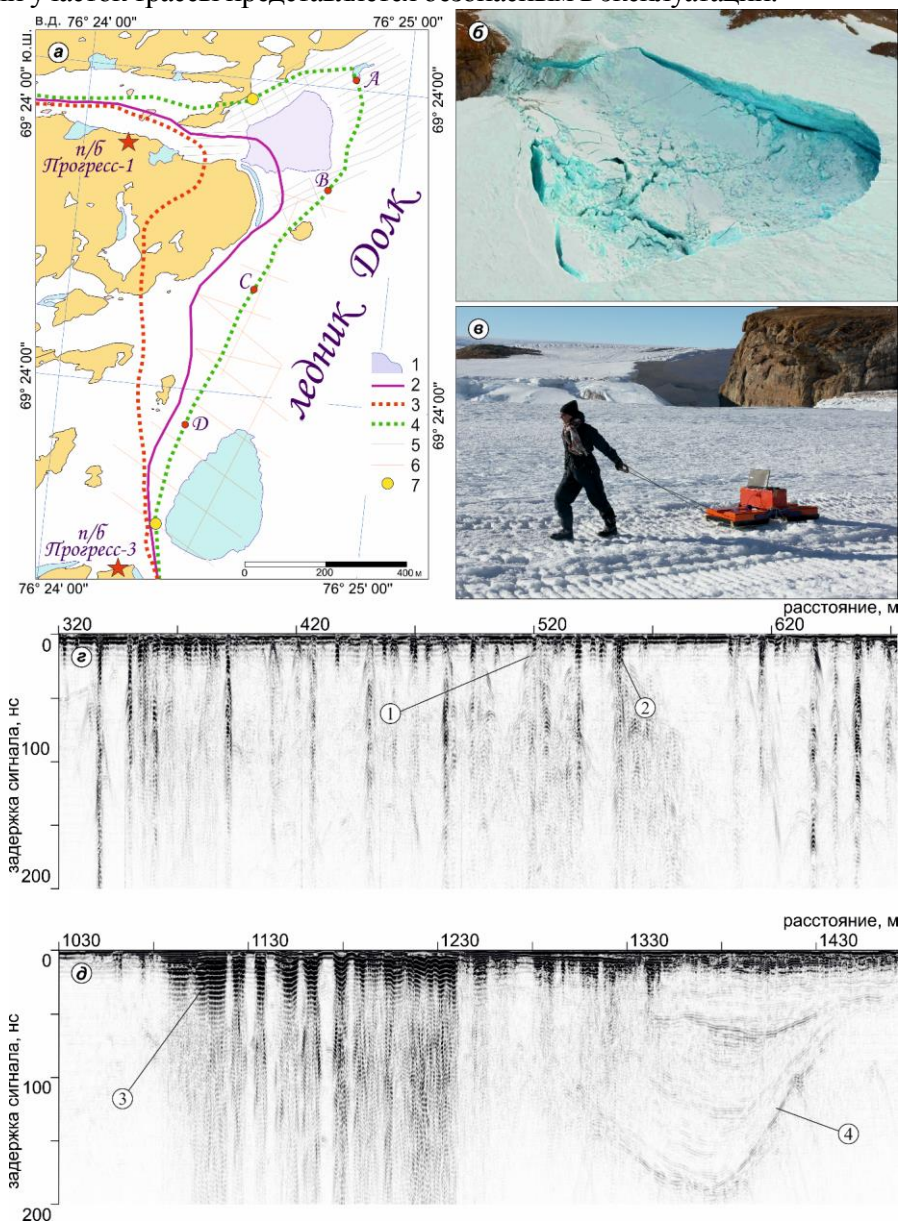


Рис. 1 Инженерные изыскания в западной части ледника Долк. а - схема района работ: 1 - провал, 2 - старая трасса, 3 - трасса через каменистые склоны, 4 - новая трасса, 5 - схема профилей на участке вокруг провала, 6 - схема профилей на участке между п/б Прогресс-1 и Прогресс-3, 7 - точка начала и конца георадарного временного разреза; б - вид провала в момент образования; в - выполнение георадиолокационной съемки; г - разрез AB на пути следования трассы: 1 - дифрагированная волна, 2 - интенсивное отражение от воды в трещинах; д - разрез CD на пути следования трассы: 3 - интенсивные реверберации в местах скоплений талой воды, 4 - слои в теле ледника.

Фрагмент разреза CD по трассе, расположенный в районе между полевыми базами Прогресс-1 и Прогресс-3, представлен на рис. 1д. На временном разрезе имеются контрастные отражения, сопровождающиеся реверберацией *3*, что свидетельствует о скоплении в этом районе талой воды под снежным покровом. В то же время, предпосылок наличия крупного подледникового водоёма обнаружено не было, что также подтверждает безопасность этого участка трассы. Помимо этого, на временном георадарном разрезе наблюдаются интенсивные отражения *4*, сформированные от слоёв в теле ледника. Их

конфигурация свидетельствует о том, что в этом районе, возможно, повышена удельная аккумуляция снежного покрова.

Новая дорога была одобрена руководством станции 19 января 2018 года, а 23 января была произведена её обвеховка и укатка, после чего дорога приобрела жёсткое покрытие, а видимые трещины были забучены снегом. Таким образом, 24 января 2018 года началась эксплуатация новой трассы, соединяющей станции Прогресс и Зонгшан с аэродромом и пунктом формирования санно-гусеничных походов во внутренние районы Антарктиды.

Авторы благодарят своих коллег, сотрудников гляцио-гидрогеофизического отряда сезона 63й РАЭ Боронину А.С. и Дешевых Г.А. за помощь в проведении полевых работ; начальника станции Прогресс 62-й РАЭ Миракина А.В, начальника станции Прогресс 63-й РАЭ Воеводина А.В. и сотрудников станции Прогресс, Латыпова Р.Р., Сощенко В.В., Коняева А.А., за помощь в организации полевых работ, а также Миракина А.В. за предоставление фотоматериалов; Институт Наук о Земле СПбГУ и ООО «ГеофизПоиск» за предоставленную геофизическую аппаратуру. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-0500421 А.

Список литературы

Попов С.В., Поляков С.П. Георадарное лоцирование трещин в районе российских антарктических станций Прогресс и Мирный (Восточная Антарктида) в сезон 2014/15 года // *Криосфера Земли*, №1, XX, 2016: 90-98.

Пряхин С.С., Попов С.В., Сандалюк Н.В., Мартьянов В.Л., Поляков С.П. Аэрофотосъёмка районов российских антарктических станций Мирный и Прогресс в сезон 2014/15 г. // *Лёд и снег*, №4, 55, 2015: 107-113.

Popov S.V., Pryakhin S.S., Bliakharskii D.P., Pryakhina G.V., Tyurin S.V. Vast ice depression in Dålk Glacier, East Antarctica. // *Лёд и Снег,* № 3*,* 57, 2017: 427-432.

Engineering survey aimed at organization a year-round route at the area of the Progress station, East Antarctica, during the season of the 63rd RAE (2017/2018)

***Sukhanova A.A.*[1], *Popov S.V.*[2], *Grigoreva S.D.*[1]**

[1]*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

[2]*Polar Marine Geosurvey Expedition, St. Petersburg, Russia*

nastya21622162@gmail.com

Abstract: In this paper we present the results of the engineering survey performed during the austral summer field season of the 63rd Russian Antarctic Expedition at the area situated between field bases Progress-1 and Progress-3 (Larsemann Hills, East Antarctica) from 4th to 24th January 2018. The aim of the research was to find a place convenient for organizing a new year-round route connecting Progress station with the point of formation of the logistic traverses to the interior parts of Antarctica. The necessity of such survey appeared after the catastrophic outburst of the subglacial lake situated at the western part of the Dalk glacier. This happened on 30th January 2017 and led to formation of a huge glacial dip with size of 183×220 m which destroyed the former part of the route. During the field season of 2017/2018 we performed a GPR survey at frequencies 150 MHz and 900 MHz to observe main features of the glacier structure in this area, mainly the crevasses and interglacial water masses. Due to the results achieved, this area is safe for organizing the logistic routes. New route was accepted by the chief of the Progress station on 19th January 2918, and on 24th January 2018 after accurate preparation it was ready for exploitation.

Keywords: East Antarctica, Progress station, ground-penetrating radar soundings, logistical support, transport operations, outburst flood, ice crevasses

Опыт краткосрочного прогнозирования нагонных явлений в дельте Дона в 2015-2017 гг.

***Третьякова И.А.*[1], *Яицкая Н.А.*[1,2,3], *Бердников С.В.*[1]**

[1] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук»*

[2]*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сочинский научно-исследовательский центр Российской академии наук*

[3]*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Институт природно-технических систем Российской академии наук*

ira.tretyakova@gmail.com

Аннотация: Нагонные наводнения представляют серьёзную опасность для побережья Азовского моря и дельты реки Дон. В целях заблаговременного определения чрезвычайных ситуаций с 2015 года в Институте аридных зон ЮНЦ РАН развивается система краткосрочного прогнозирования опасных нагонных явлений. В статье представлены результаты работы системы за 2015-2017 гг. В качестве инструмента прогнозирования выбрана гидродинамическая модель SASMO. Моделирование зон затопления производится в программном пакете HEC-RAS. Результаты расчётов всех случаев сопоставлены с натурными данными, полученными с 2015 по 2017 гг. при помощи автоматического уровнемера в х. Донском, который проводит измерения в течение всего года с шагом по времени 10 минут. Прогноз хода уровня с заблаговременностью до 72 часов выполняется только для случаев, когда потенциальная скорость ветра с западной составляющей превышает 8 м/с. Таким образом, всего с 2015 г. выполнено более 70 запусков системы. Расчётные значения (максимальное значение и время его достижения) в целом адекватно описывают динамику хода уровня в соответствии с данными наблюдений. На основе анализа сопоставления вычислений с фактическими значениями можно заключить, что ошибка при прогнозировании существенно зависит от временного шага и оправдываемости используемого метеопрогноза. Средняя абсолютная ошибка на первые сутки расчёта не превышает 20% при использовании метеопрогноза с временным шагом в 3 часа. Для верификации системы при экстремальных условиях была проведена реконструкция двух катастрофических нагонов, которые произошли в марте 2013 и сентябре 2014 года. Результаты расчётов показали качественное соответствие кривых хода уровня. Проведенная работа показала возможность использования системы прогнозирования для раннего выявления чрезвычайных ситуаций. При внедрении в практическую деятельность прогнозирование подъема уровня позволит снизить социальный и экономический ущерб.

Ключевые слова: штормовой нагон, Азовское море, прогнозирование опасных природных явлений

Введение

Нагонные наводнения, вызванные воздействием касательного напряжения ветра и градиентом приземного атмосферного давления при прохождении над акваторией моря глубоких циклонов вместе с сопровождающим их сильным волнением, представляют серьёзную опасность для побережья Азовского моря и дельты Дона. Они нередко охватывают большие прибрежные территории, а их продолжительность обычно колеблется от нескольких часов до нескольких суток.

Для изучения закономерностей формирования гидрологического режима дельтовой области реки Дон в 2007 г. организован постоянный гидрологический пост на научно-экспедиционной базе Южного научного центра РАН (ЮНЦ РАН) в с. Кагальник (гирло Свиное) (Пономаренко и др., 2012), а с апреля 2014 г. установлен автоматический

уровнемер в х. Донском, который проводит измерения в течение всего года с шагом по времени 10 минут (Автоматизированная система…, 2017). Данные об уровне на гидрологическом посту «Донской» являются репрезентативными для всей дельты, так как колебания уровня в различных рукавах практически синхронны (Матишов и др., 2008). Дифференциация хода уровня по рукавам дельты связана с морфометрическими параметрами русла и разным характером берегов (Матишов и др., 2008; Пономаренко и др., 2012).

В целях заблаговременного определения чрезвычайных ситуаций с 2015 года в Институте аридных зон ЮНЦ РАН развивается система краткосрочного прогнозирования нагонных явлений (Yaitskaya, Tretyakova, 2014; Tretyakova, Yaitskaya, 2015; Yaitskaya, Tretyakova, 2016).

Материалы и методы

Инструментом для выполнения расчётов служит оригинальная трехмерная гидродинамическая модель SASMO (Sea of Azov Surge Model) (Чикин, 2005), которая позволяет оперативно получать оценочные картины гидрофизических параметров. Простая численная реализация модели осуществляется благодаря использованию конечно-разностных методов на равномерной прямоугольной сетке без предварительного преобразования расчётной области из нерегулярной в регулярную область. Для проведения расчётов на вход модели подается батиметрия водоема и ветровой форсинг. Региональная атмосферная модель не применяется для формирования входных данных. Вместо этого используется готовый метеопрогноз (направление и скорость ветра) для ГМС «Таганрог» с дискретностью 3-6 часов, полученный с электронного портала «Расписание погоды» (Погода в Таганроге, 2017). Указанный источник был выбран, как показавший наиболее близкое соответствие данным наблюдения, после предварительного сравнения нескольких метеопрогнозов.

Моделирование зон затопления производится в программном пакете HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center — River Analysis System) (Brunner, 2016). HEC-RAS предназначен для выполнения одномерных гидравлических расчётов для всей сети природных и искусственных каналов. В качестве входной геометрической информации используется цифровая модель местности (ЦММ) дельты Дона, объединённая с примыкающей 10-ти километровой восточной частью Таганрогского залива. Использованная ЦММ разработана как сочетание батиметрии Таганрогского залива на взморье (Батиметрия Азовского моря..., 2006; Магаева, Третьякова, 2015), батиметрии основных русел Дона (Атлас единой глубоководной системы…, 2008) и ЦММ суши (ASTER…, 2017). В качестве гидрологических условий задаётся ход уровня, полученный на выходе модели SASMO (Чикин, 2005).

Результаты расчётов всех случаев сопоставлены с натурными данными за 2015-2017 гг. В настоящей работе приведены сравнения с наблюдениями, полученными с уровнемера в х. Донском, как источника, предоставляющего наиболее полное обеспечение данными в течение года.

Результаты

Прогноз хода уровня с заблаговременностью до 72 часов выполняется только для случаев, когда потенциальная скорость ветра с западной составляющей превышает 8 м/с. Таким образом, всего с 2015 г. выполнено более 70 расчётов. Фактическое число сильных нагонов в дельте Дона, высота которых превысила отметку в 1,3 м над среднемноголетним значением уровня в реке по данным автоматического уровнемера, установленного в х. Донской, составило 25 случаев. Из них в 2015 году – 5, в 2016 году – 10, в 2017 году – 10.

В качестве примера результатов работы системы краткосрочного прогнозирования представлено три расчётных хода уровня с заблаговременностью 54 часа для 2015, 2016 и 2017 гг. (рис. 1А). В 2015 г. исходные значения ветра заданы с дискретностью 6 часов, в 2016 и 2017 гг. – 3 часа.

Для оценки качества прогнозов рассчитывалась средняя абсолютная ошибка (MAE) за первые сутки и за весь срок вычислений. В приведенном примере в 2015 году MAE за первые сутки составила 34.9 см, а за весь период расчета – 42.4 см. С 2016 года в работе стали использоваться данные о скорости и направлении ветра с шагом 3 часа. Для прогноза на 22-24 апреля 2016 года значение MAE за первые сутки равнялось 12.6 см, за весь период расчёта – 30.1 см. 21-23 апреля 2017 года MAE за первые сутки находилось на отметке 18.2 см, за весь период расчёта – 29.9 см. Таким образом удалось достичь того, чтобы за первые сутки расчётов ошибка не превышала 20 см.

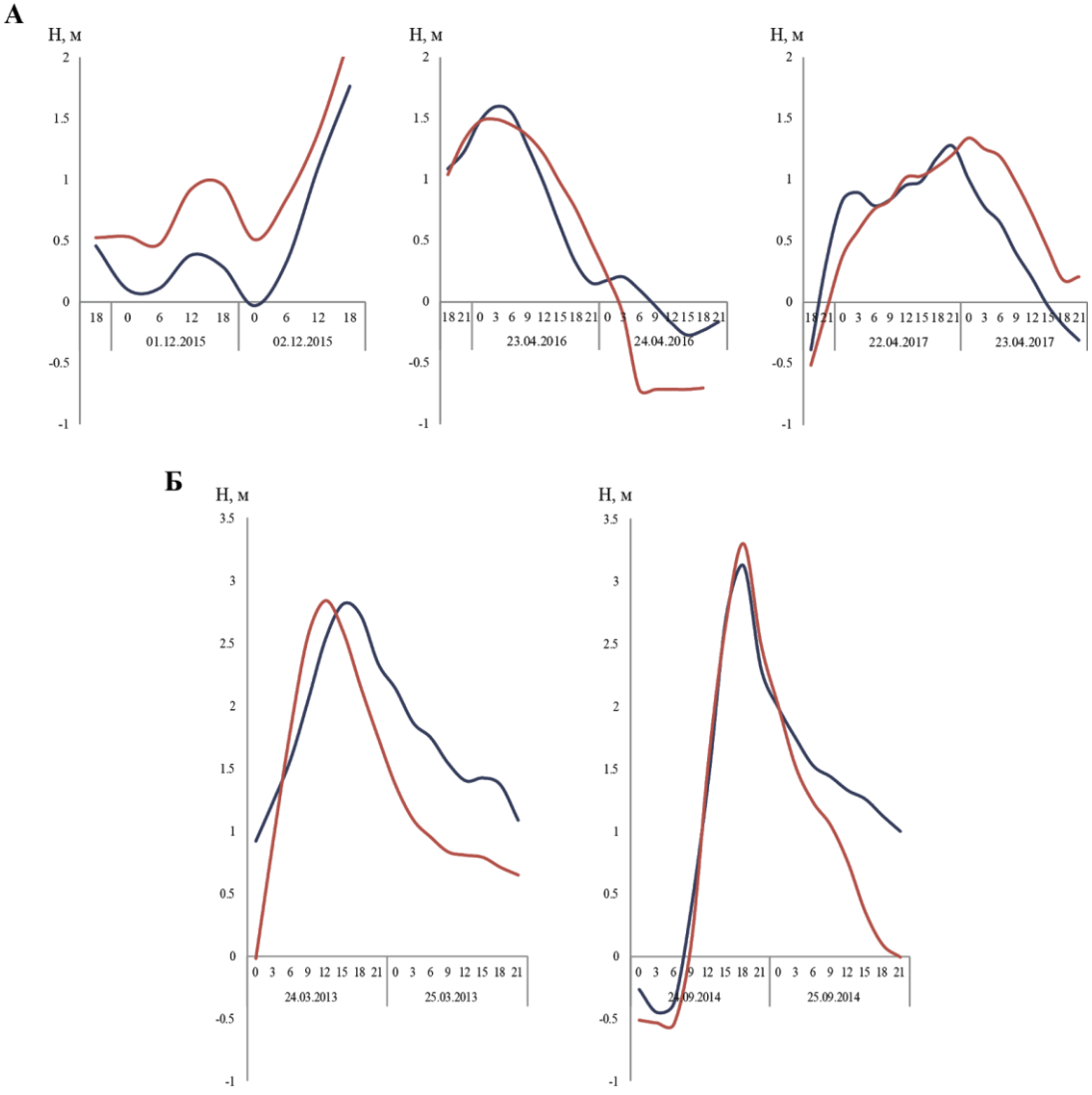


Рис. 1 Ход уровня: А – примеры прогнозов, Б – реконструкция экстремальных нагонов.Синяя линия – фактические данные в х. Донской. Красная линия – прогноз

Анализ результатов прогнозов нагонов показал, что на «разгон» модели необходимо 6 часов, что необходимо учитывать при задании начальных условий ветрового форсинга. Расчётные значения в целом адекватно описывают динамику хода уровня по данным наблюдений. Ошибка прогнозирования существенно зависит от временного шага и точности используемого метеопрогноза.

Для верификации системы при экстремальных условиях была проведена реконструкция двух катастрофических нагонов, которые произошли в марте 2013 и сентябре 2014 года (рис. 1Б). Результаты расчётов показали качественное соответствие кривых хода уровня.

Выводы

Результаты работы системы краткосрочного прогнозирования нагонных явлений в дельте Дона в 2015-2017 гг. показали возможность её использования для раннего выявления чрезвычайных ситуаций. При внедрении в практическую деятельность прогнозов подъёма уровня позволит снизить социальный и экономический ущерб. Для дальнейшего повышения качества получаемых расчётов возможно применение других вариантов ветрового форсинга, например, с меньшим шагом по времени или использование метеопрогноза с пространственным распределением.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2018 г., No гр. проекта 01201363188. В части расчётов в зимний период исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-35-00318 мол_а.

Список литературы

Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ Том 8, Волго-Донской водный путь от Волгограда до Азовского моря. Изд-во: ГБУ Волго-Балт, 2008.

Батиметрия Азовского моря: Карта не д/навигационных целей. Масштаб 1:500 000 по параллели 44 Сист. координат 1942 г. (Пулково). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2006.

Автоматизированная система мониторинга паводковой ситуации на территории Краснодарского края [Электронный ресурс] // URL: http://www.emercit.com/map/# (дата обращения: 28.12.2017)

Магаева А.А., Третьякова И.А. Создание цифровой модели рельефа дна Азовского моря // Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей в 3 т. Т.3: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Южный федеральный университет: Издательство Южного федерального университета. – Ростов-на-Дону, 2015. С. 266-269.

Матишов Д.Г., Пряхина Г.В., Федорова И.В., Сорокина В.В. Современный сток воды и наносов в дельте реки Дон (по результатам экспедиционных исследований) // Вестник ЮНЦ РАН, 2008. Т. 4. № 3. С. 72-78.

Погода в Таганроге // Расписание погоды: [сайт]. URL: http://rp5.ru (дата обращения: 28.12.2017)

Третьякова И.А., Чикин А.Л., Бердников С.В. Опыт оперативного прогнозирования нагонных явлений в дельте Дона в теплый период (апрель–октябрь) 2015 года // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии: материалы междун. науч. конф. и молодежной науч. конф. памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, Россия, 5–8 сентября 2016 г.) / [гл. ред. акад. Г.Г. Матишов]. — Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. — С. 473–475.

Чикин А.Л. Об одном из методов расчета параметров течений в водоемах с большой неоднородностью глубин// Водные ресурсы, 2005. Т. 32. № 1. С. 55–60.

ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) [Электронный ресурс] // URL: http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/eng/index.E.html [Online]. (дата обращения: 19.06.2017)

Brunner G.W. HEC-RAS, River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 5.0. / (CPD-69). February 2016. – 547 p.

Tretyakova I.A., Yaitskaya N.A. Methods for assessing dangerous storm and surge phenomena in the basin and coastal zone of the Sea of Azov // В сборнике: Геоинформационные науки и прогнозирование экстремальных явлений Сборник статей III Международной научной конференции. Southern Scientific Centre of RAS Institute of Arid Zones SSC RAS. 2015. С. 101–122.

Yaitskaya N.A., Tretyakova I.A. The study of hazardous natural phenomena in the Sea of Azov basin by mathematical modeling and GIS technologies // В сборнике: Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии Collection of articles of the II International conference. Southern Scientific Centre of RAS. 2014. С. 152–165.

Yaitskaya N.A., Tretyakova I.A. Mathematical modeling of dangerous storm and surge phenomena in the basin of the Sea of Azov (March 24, 2013) // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-61-2 / ISSN 1314-2704, June 28–July 6, 2016. — Book 3 Vol. 1, p. 481–488. DOI: 10.5593/SGEM2016/B31/S12.063.

Experience of short-term surge phenomena forecasting in the delta of the Don River from 2015 to 2017

***Tretyakova I.A.*[1], *Yaitskaya N.A.*[1, 2, 3], *Berdnikov S.V.*[1]**

[1] *Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"*

[2] *Federal State Budgetary Institution of Science "Sochi Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences"*

[3] *Federal State Budget Scientific Institution "Institute of Natural and Technical Systems of the Russian Academy of Sciences"*

ira.tretyakova@gmail.com

Abstract: Flooding poses a serious danger for the coast of the Azov Sea and the delta of the Don River. In order to identify emergency situations in advance the system of short-term forecasting of dangerous surge phenomena has being developed in the Institute of Arid Zones of the SSC RAS since 2015. The article presents the work products of the system for 2015 to 2017. SASMO hydrodynamic model was chosen as a forecasting tool. Simulation of flooding zones is performed in the software package HEC-RAS. The results of calculations of all cases are compared to the actual data obtained from 2015 to 2017 using an automatic level meter in the Donskoy farm, which conducts measurements throughout the year with a time step of 10 minutes. The level forecast with a lead time of up to 72 hours is only carried out if the potential wind speed with the western component exceeds 8 m/s. Thus, more than 70 system launches in total have been completed since 2015. The calculated values (maximum value and its achievement time) in general adequately describe the dynamics of the level as per the observational data. Based on the analysis of the comparison of calculation data with actual values it can be concluded that the error in forecasting depends significantly on the time step and the accuracy of the used weather forecast. The average absolute error on the first day of calculation does not exceed 20% when using the weather forecast with a time step of 3 hours. To verify the system under extreme conditions two catastrophic surges were reconstructed that occurred in March 2013 and September 2014. The results of the calculations showed a qualitative correspondence of the level curves. The conducted work showed a possibility of using the forecasting system for early detection of emergencies. When implemented in practice, the level rise forecasting will reduce social and economic damage.

Keywords: storm surge, the Sea of Azov, forecasting of dangerous natural phenomena

Вопросы применения метода статистических испытаний (метода Монте-Карло) для оценки погрешностей выборочных оценок числовых характеристик по временным рядам наблюдений

Шелутко В. А.[1,2]***, Урусова Е.С.***[1]
[1]*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург*
[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
shelutko@rshu.ru

Аннотация: Рассматриваются вопросы применения метода Монте-Карло для оценки погрешностей расчетов числовых характеристик стока по имеющимся рядам наблюдений. В результате показывается, что принятый алгоритм использования метода Монте-Карло, послуживший основой официальных рекомендаций по расчету числовых характеристик стока, приводит к значительному преувеличению отрицательного смещения числовых характеристик рассеивания. В связи с этим делается вывод о необходимости существенного уточнения этих рекомендаций.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, погрешности, смещение , числовые характеристики, ряд наблюдений, законы распределения, кривые обеспеченности, линеаризация и нормализация связей

Постановка задачи

Наряду с теоретическими работами, с конца шестидесятых годов прошлого века, широкое распространение для оценки погрешностей выборочных оценок получил метод Монте-Карло [Рождественский,1977. СНиП 2.01.14-83, 1984, СП 33-101-2003.2004]. Именно на его основе были разработаны рекомендации по оценке случайных погрешностей и смещенности оценок числовых характеристик, получившие широкое признание в России и достаточно полное отражение в руководящих документах по расчету числовых характеристик стока [СНиП 2.01.14-83, 1984, СП 33-101-2003.2004].

Суть применения метода Монте Карло в этом случае заключается в том что имея некоторый ограниченный объем экспериментальных данных n, при заданном известном или предполагаемом законе распределения, можно получить практически неограниченную искусственную выборку объемом N (N>>n) , или множество выборок общим объемом N, содержащих значительно большую информацию о возможных вариантах чередования значений случайной величины или простой цепи Маркова, отвечающей данной функции распределения.

Вместе с тем при реализации этого алгоритма возник ряд вопросов, пока еще не достаточно освещенных в литературе.

Первый из них связан с тем, что в некоторых случаях по кривым обеспеченности Пирсона III–го типа, построенным по временным рядам годового стока, получаются отрицательные значения, что противоречит физической сущности речного стока [4]. Появляются отрицательные значения и при розыгрыше рядов годового стока методом статистических испытаний на основе закона распределения Пирсона III–го типа [Рождественский,1977]. Причина появления отрицательных значений, по нашему мнению, изучена недостаточно.

Второй вопрос. Для того чтобы исключить появление отрицательных значений авторы руководящих документов использовали при моделировании рядов стока метод нормализации и линеаризации связей Г.А. Алексеева [Алексеев, 1971]. При этом не

учитывался сглаживающий эффект этого метода [Шелутко и др.,2015], что могло привести к увеличению отрицательного смещения характеристик рассеивания. Влияние применения этого метода на конечные результаты моделирования, вообще говоря, не исследовалось.

Третий вопрос. Моделирование исходных рядов методом Монте- Карло производилось по теоретическим кривым обеспеченности. При этом, каких либо исследований по вопросу влияния не учета разброса эмпирических точек относительно теоретических кривых на конечный результат моделирования не проводилось.

Анализ

Вообще говоря, появление отрицательных значений при моделировании рядов стока на основе закона распределения Пирсона III типа не явилось неожиданностью. Именно это обстоятельство и наличие рядов стока с $Cs < 2Cv$ явилось причиной разработки и применения новых законов распределения для расчетов стока в сороковых годах прошлого века (закон распределения Крицкого-Менкеля, закон распределения Бровковича и др.) [Соколовский, 1968]. Однако впоследствии выяснилось, что уход кривых обеспеченности Пирсона III типа в отрицательную область может наблюдаться и при $Cs \geq 2Cv$, то есть не соблюдение этого требования является не единственной причиной появления отрицательных значений в моделируемых рядах стока.

При анализе появления отрицательных значений следует отметить, что уравнение, описывающее закон распределения Пирсона Ш типа, основывается на предположении, что исходные ряды данных являются чисто случайными, то есть, какая либо внутрирядная связь в них отсутствует. Между тем, многие временные и пространственно временные ряды среднего годового и максимального стока имеют внутрирядную связь, и для их описания используется, например, простая или сложная цепь Маркова. В этом случае применение закона распределения Пирсона Ш типа не достаточно обосновано.

Для подтверждения этого вывода были проведены численные эксперименты путем моделирования рядов стока по кривой обеспеченности Пирсона Ш типа при разных значениях исходных параметров (коэффициента вариации CV, коэффициента асимметрии CS и коэффициента корреляции смежных значений членов ряда r1). Объём каждой смоделированной последовательности составлял 1.000.000 членов. В каждой последовательности определялось минимальное значение и подсчитывалось число отрицательных значений

Как следует из анализа полученных данных, при отсутствии корреляции между смежными значениями ряда ($r1 = 0$) при любом коэффициенте вариации и соотношении CS к CV ($CS \geq 2CV$) отрицательных значений в моделируемых рядах не наблюдается. С увеличением коэффициента корреляции смежных значений r1 начинают появляться отрицательные значения, тем чаще, чем больше этот коэффициент корреляции. Интересно, что в каждой модели при разных значениях CV с увеличением тесноты связи смежных значений происходит рост по абсолютной величине, как самих минимальных значений, так и число выходов кривой обеспеченности в отрицательную область.

Таким образом, по-видимому, основной причиной появления отрицательных значений при использовании закона распределения Пирсона III –го типа является именно наличие внутрирядной связи в исходных рядах наблюдений. Если эта связь отсутствует то при любых коэффициентах вариации и коэффициентах асимметрии $CS \geq 2CV$ все значения моделируемых последовательностей не выходят в отрицательную область.

Прежде чем перейти к ответу на второй и третий вопрос необходимо заметить, что дисперсия любого ряда значений случайной величины X может быть представлена в виде суммы двух составляющих:

$$DX = D\,k + D\,r \qquad (4)$$

где DX – дисперсия исходного ряда, Dk – дисперсия ряда, полученная по значениям обеспеченностей с кривой обеспеченности, Dr – дисперсия отклонений значений ряда от

теоретической кривой обеспеченности. В принятой методике моделирования, заложенной в современные нормативные документы, учитывается только первая составляющая. Поэтому дисперсия и другие характеристики рассеивания ряда смоделированного таким образом всегда занижена по сравнению с фактической дисперсией.

Для подтверждения этого вывода были проведены численные эксперименты. Простейший из них заключался в том, что по какому либо ряду наблюдений определялись числовые характеристики распределения: mx , σx , Cs. Затем члены исходного ряда ранжировались в убывающем порядке, и определялась их эмпирическая обеспеченность (4). По значениям эмпирической обеспеченности P и коэффициента асимметрии Cs определялись нормированные ординаты теоретической кривой обеспеченности Пирсона Ш типа tp, которые затем по формуле

$$xp = mx + tp \times \sigma x \ ; \qquad (5)$$

переводились в естественные значения. Полученные значения ряда и его числовые характеристики сопоставлялись со значениями исходного ряда и его числовыми характеристиками.

Так в таблице 1 в качестве примера представлены указанные расчеты по ряду средних годовых расходов воды реки Великая у г. Остров за двадцатилетний период с 1987 по 2006 год. Во второй колонке представлены значения ряда годового стока X. В третьей колонке приведены значения этого ряда в убывающем порядке Хуб ; в четвертой – эмпирические обеспеченности этих значений – P. В пятой колонке – нормированные значения ординат кривой обеспеченности Пирсона Ш типа– tP при полученном значении Cs и значениям обеспеченности, представленным в третьей колонке. В шестой колонке представлены значения X P, рассчитанные по формуле (5). то есть, в шестой колонке представлен ряд, полученный на основе методики моделирования гидрологической документации. методом Монте-Карло, использованной при разработке нормативной

Таким образом, по исходному ряду наблюдений, приведенному в таблице 1, вначале были рассчитаны оценки числовых характеристик и эмпирические обеспеченности членов ряда. Затем, в полном соответствии с принятым алгоритмом моделирования рядов стока методом Монте –Карло, по этим характеристикам и обеспеченностям был получен новый ряд.

Из представленных данных следует, что все числовые характеристики рассеивания ряда, полученного по принятой методике моделирования методом Монте –Карло, меньше аналогичных характеристик исходного ряда наблюдений. Причем это уменьшение составляет от 9 (коэффициент вариации) до 71% (коэффициент асимметрии). Причиной этого несоответствия является именно не учет разброса точек эмпирической кривой обеспе ченности относительно теоретической кривой.

Остановимся теперь на втором поставленном вопросе. Для того чтобы в смоделированном ряду не было отрицательных значений при разработке нормативных значений погрешностей и смещенности оценок числовых характеристик был применен метод нормализации и линеаризации связей.

Таким образом, для получения конечного результата производилось двойное преобразование исходного ряда. Первое преобразование заключалось в переходе от закона распределения Пирсона III–го типа к нормальному закону распределения по таблице нормированных ординат нормального закона распределения. Второе преобразование заключалось в переходе от нормального закона распределения к закону распределения Пирсона III–го типа по уравнению регрессии исходного и нормализованного ряда.

При этом в первом преобразовании не учитывался разброс эмпирических точек относительно теоретической кривой обеспеченности. Во втором– не учитывался разброс

точек относительно линии регрессии. И в том и в другом случае как показано выше это приводит к сглаживанию информации и, следовательно, уменьшению значений числовых характеристик рассеивания смоделированного ряда относительно их значений по фактическому ряду.

Табл.1. Расчет числовых характеристик исходного ряда по р. Великой Остров и ряда полученного по теоретической кривой обеспеченности Пирсона III типа

№	x	$x_{уб}$	$P=I/(n=1)*100$	t_p	X_p	δ
1	158	229,3	4,76	1,848	201	28,3
2	107	180,6	9,52	1,376	182	-1,4
3	131	175,4	14,29	1,101	171	4,4
4	229,3	162,6	19,05	0,833	160	2,6
5	161,2	161,2	23,81	0,642	152	9,2
6	130,5	158	28,57	0,483	146	12
7	95,6	133,4	33,33	0,341	140	-6,6
8	180,6	131	38,10	0,202	134	-3
9	133,4	130,5	42,86	0,078	129	1,5
10	92,7	127,6	47,62	-0,031	125	2,6
11	127,6	122	52,38	-0,165	119	3
12	162,6	117	57,14	-0,279	115	2
13	175,4	107	61,90	-0,395	110	-3
14	101,6	103,1	66,67	-0,512	105	-1,9
15	103,1	101,6	71,43	-0,63	100	1,6
16	45,8	95,6	76,19	-0,751	95,3	0,3
17	94	94	80,95	-0,883	89,9	4,1
18	117	94	85,71	-1,045	83,2	10,8
19	122	92,7	90,48	-1,215	76,3	16,4
20	94	45,8	95,24	-1,457	66,4	-20,6

В таблице 2 представлены оценки числовых характеристик исходного и смоделированного ряда.

Табл. 2. Числовые характеристики исходного и смоделированного ряда средних годовых расходов по р. Великой у г. Остров

Ряд	m_x	σ_x	C_v	C_s
Исходный	126	40,9	0,32	0,46
Модель	125	36,2	0,29	0,33
разность	-1	4,7	0,03	0,13
Разность %	- 0,8	-11,5	- 9,4	-28,3

Таким образом, использования метода нормализации в данном случае привело к достаточно значимому отрицательному смещению среднего квадратического отклонения, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии. Это естественно сказалось и на рекомендациях, представленных в СНиП 2.01.14-83 и СП 33-101-2003

Четвертый поставленный вопрос касается самого алгоритма моделирования рядов стока с целью определения погрешностей расчетов числовых характеристик и их

смещенности, использованного при разработке рекомендаций. Выше отмечалось, что моделирование методом Монте-Карло выборок, по которым определялись эти характеристики, производилось по теоретическим кривым обеспеченности при заданных параметрах распределения. При этом, каких либо исследований по вопросу учета разброса эмпирических точек относительно теоретических кривых на конечный результат моделирования не проводилось. Между тем это обстоятельство, как следует из приведенных выше примеров (таблицы 1, 2), требует дополнительных исследований. Действительно, судя по этим примерам, уменьшение характеристик рассеивания за счет не учета разброса эмпирических точек может достигать 10 и более % по отношению к действительным значениям.

Выводы

1. Принятые методики моделирования, основанные на использовании одномерных законов распределения случайной величины, могут с достаточной обоснованностью применяться только при отсутствии внутрирядной связи или в случае, когда коэффициент корреляции связи смежных значений меньше 0,3.

2. Применение при моделировании рядов стока методом Монте-Карло метода нормализации и линеаризации связей Алексеева приводит к неоправданному увеличению отрицательного смещения числовых характеристик рассеивания.

3. Моделировании рядов стока методом Монте Карло по методике, не учитывающей разброс эмпирических точек относительно теоретической кривой обеспеченности, неизбежно приводит к занижению (отрицательному смещению) числовых характеристик рассеивания на 10 % и более.

4. Современные рекомендации по учету отрицательного смещения числовых характеристик рассеивания , основанные на применении метода Монте-Карло, не учитывали сглаживающего влияния метода линеаризации и нормализации связей, а также разброс значений эмпирической кривой обеспеченности относительно теоретической кривой обеспеченности. Это привело к значительному уменьшению числовых характеристик рассеивания и преувеличению рекомендуемых значений поправок на их отрицательные смещения.

Список литературы

Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей – Л.: Гидрометеоиздат, 1971.

Рождественский А. В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик – Л.: Гидрометеоиздат, 1977.

СНиП 2.01.14-83 Определение расчётных гидрологических характеристик – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.

Соколовский Д.Л. Речной сток. – Л.: 1968. – 539 с.

СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик – М. Госстрой России, 2004.

Шелутко В.А , Долинная С.Я.,. Вопросы применения методов линеаризации связей и нормализации исходных рядов при расчетах по уравнениям регрессии. Фундаементальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 15-18 сентября 2015 г. / ИВП РАН: 2015. с. 65-6

The application of the method of statistical tests (the monte carlo method) for estimating the errors of sample estimates of numerical characteristics from the time series of observations

Shelutko V.A.[1,2]***, Urusova E.S.***[1]
[1] *Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,*
[2] *Saint-Petersburg State University, St. Petersburg*
shelutko@rshu.ru

Abstract: The application of the Monte Carlo method for estimating the errors in calculating the numerical characteristics of runoff by available series of observations is considered. As a result, it is shown that the adopted algorithm for using the Monte Carlo method, which served as the basis for official recommendations for calculating the numerical characteristics of the runoff, leads to a significant exaggeration of the negative displacement of the numerical characteristics of scattering. In this regard, it is concluded that there is a need for a substantial refinement of these recommendations.

Keywords: The Monte-Carlo method, errors, displacement, statistical characteristics, a series of observations, official recommendations, laws of distribution, availability curve, inearization and normalization of constraints

Spatial modeling of flood inundation using GIS and data mining tools (A case study: the Gorganrood Watershed, Iran)

***Aiding Kornejady*[1], Hamid Reza Pourghasemi[2], Omid Asadi Nalivan[1], Majid Ownegh[3]**

[1] *Young Researchers and Elite Club, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran*

[2] *Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran*

[3] *Department of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran*

aidin.kornejady@gmail.com

Abstract: The Gorganrood watershed, located in north-eastern Iran, has encountered several destructive floods with sizable financial losses and casualties over the last two decades. Hence, this study aimed to model the spatial potentiality of flood inundation by using four data mining models, namely; random forest (RF), support vector machine with the radial basis function kernel (SVM-RBF), generalized linear model (GLM), and back propagation artificial neural network (BPANN). A total of 124 flooded localities with ten flood inundation predictors were mapped as inputs using geoinformatics and organizational data. The Mahalanobis distance method was used to split the flood inventories into two sets of train and test data. Variance inflation factor was used to test the multicollinearity among predictors. Validating /sieving of the models was carried out using a novel integrated performance index (IPI) comprising three statistical and conceptual tests, including the area under the receiver operating characteristic curve (AUROC), chi-square test, and ability to compendiously address highly susceptible classes (practicality). As a result, the test based AUROC values attested that the RF model excels the other models in the predictive power and generalization capacity with a value of 0.89, followed by BPANN (0.856), SVM (0.823), and GLM (0.77). The SVM model, with a chi-square value of 705257.42, differentiated flood spatial patterns better than the GLM (52491.82), BPANN (47702.23), and RF (44670.41) models, although all showed statistical significance, with a 95% confidence level. In addition, the BPANN model was found to be more practical, as it resulted in a lesser extent of highly susceptible classes in the study area (23.93%), followed by GLM (30.41), RF (30.99), and SVM (38.43) models. Lastly, the IPI index presented the BPANN as a suitable machine learning model for addressing highly susceptible areas to flooding in a more focused manner, yet with higher performances. The BPANN model introduced five core determinative factors responsible for flood inundation in the study area including altitude, annual rainfall, distance to streams, HAND, and slope degree. A preliminary assessment on infrastructural elements at risk within highly susceptible classes of the premier model (accounting for 285039.14 ha) indicated that the obtained flood inundation pattern can potentially affect 424.78 km of highways and freeways, 379 villages and 5 urban areas inhibited by 340,696 residents. Accordingly, this study can be pivotal to regional risk-based planning and to implement further pragmatic measures.

Keywords: Hydrological hazard, Random forest, Support vector machine, artificial neural networks, generalized linear model

Introduction

Floods are defined as the overflow of water on a dry surface due to overtopping of water from water bodies, breaking through water dams, or as an accumulation of water on a saturated or impervious surface (IPCC, 2012). Golestan province has witnessed many destructive floods. There are quite reliable records of flood damages. Accordingly, two severe floods occurred in tandem during 2001-2002 which was ranked as one of the deadliest floods worldwide with a

minimum of 346 people perished or missing, 381 people injured, 7000 livestock killed, 99 Mm^3 of sediments loaded behind the dams, and also made damages to 5,500 ha of forests, 20,000 ha of rangelands, and 3,810 residential units (CONRWMGP, 2009). Surprisingly, cutting down trees, negligence and trespassing to natural environments located at the upstream of Gorganrood basin were reported as the main starting points for the flood occurrences and all the devastating consequences. This made a big cause for concern in regional stage and gave the organizations a pause to rethink the strangeness of their ongoing development strategies. Nowadays, data mining models have become quite popular among spatial modelers due to their ability to cope with data paucity, exploring the complicated spatial patterns in a modern fashion, and providing a miscellaneous collection of tabular and graphical results. Hence, we chose four well-known and previously studies data mining models to predict the future flood inundation pattern, namely: random forest (RF), support vector machine with the radial basis function kernel (SVM-RBF), generalized linear model (GLM), and back propagation artificial neural network (BPANN).

Study area

Gorganrood extends across an area about 9201 km^2 (Fig. 1), located within 4,183,845-4,053,255 and 234,350- 417,950 m UTM zone 40. The elevation ranges from -20 m to 3,665 m asl. The basin receives an average annual rainfall of approximately 604 mm. It is characterized by steep slopes, up to 259% in mountainous regions, susceptible lithological formations. Farming land use accounts for almost half of the area (47.76%), followed by forests (31.61%), rangelands (15.51), and the rest is shared among the other land uses/ covers.

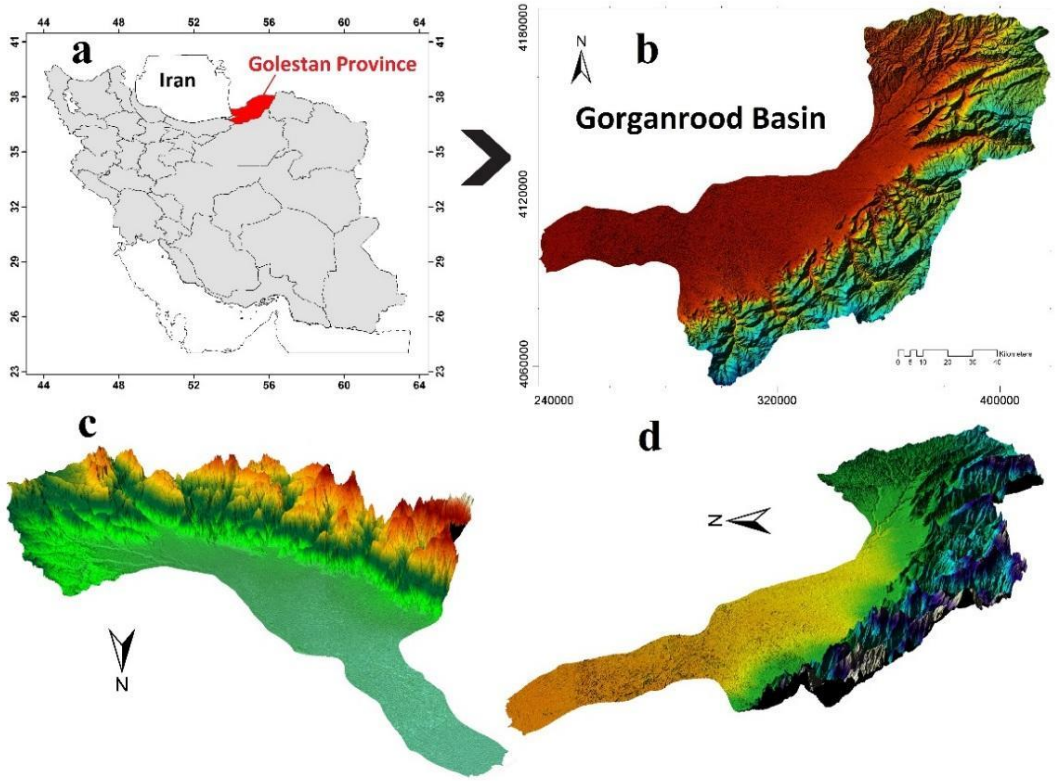


Fig. 1 Location of the Study area in Iran and Golestan Province (a, b) with two oblique views (c, d)

Methodology

The methodological process of this study is presented in Fig. 2.

Data production

First, flood inventory was carried out by mapping 124 flood localities, 70% of which was used for modeling and the rest 30% was kept away to validate models. This was done by using a probabilistic data partitioning method. For details refer to Kornejady et al. (2017). The data selection was heavily drawn on study reviews where 12 flood conditioning factors were chosen

including altitude, slope degree, slope aspect, a recently developed GIS-based topo-hydrological factor termed as height above the nearest drainage (HAND) (Rahmati et al., 2018), topographic wetness index (TWI), plan curvature, profile curvature, normalized difference vegetation index (NDVI), land use/ cover, lithological formation, distance to streams, and annual rainfall (Fig. 3). Multicollinearity analysis was carried out to indicate the strongest correlations between conditioning factors causing a bias in a model's result. To this aim, Variance inflation factor (VIF) was used to check this feature in SPSS software. The VIF values higher than 5 denotes a critical multicollinearity among data (Colkesen, 2016).

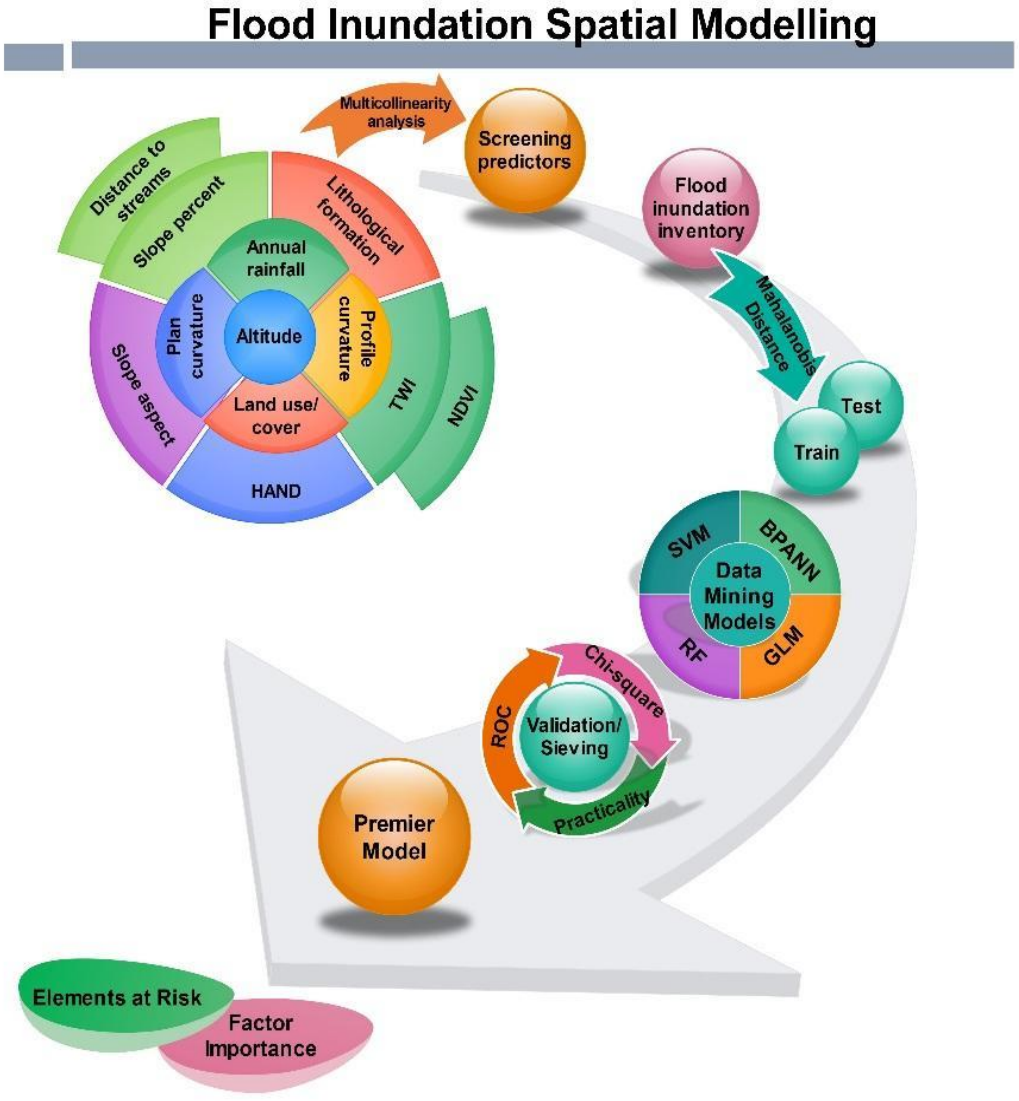


Fig. 2 Methodological flowchart adopted in this study

Model description

Random forest (RF) model is a novel extension of classification and regression trees (CARTs), which was first introduced and developed by Breiman. It has been used for environmental modeling. Random forest is a machine-learning algorithm for non-parametric multivariate classification, based on averaging results of all decision trees and presents highly accurate classification for different datasets. Support vector machine (SVM) model is a supervised pattern recognition model associated with a series of learning functions for

classification or regression tasks that leads to setting a separating line (hyperplane) between different patterns. Some points nearby this hyperplane, known as support vectors, would ease this process. SVM was first presented by Vapnik and Lerner and Vapnik and Chervonenkis. Reportedly, the radial basis function (RBF) has proved to be the best kernel function in several studies. ANNs are modeled after the neuronal structure of the mammalian cortex. They are made up of nodes arranged in three layers namely input, hidden, and the output. The highly interconnected nodes contain activation functions. Input layer presents the pattern of interest to one or more hidden nodes. Hidden nodes learn, recognize, or otherwise, process the pattern through weighted connections. Output nodes sit on the opposite side of the network and check how the network is responding to the information it has learned. There are different kinds of learning rules, one of the popular ones is backward propagation error (back-prop or BPNN), also known as the Delta rule. Generalized linear model (GLM) is a flexible generalized mode of a simple linear model and is more common when the response variable does not follow a non-normal distribution. It comprises three main components namely random component, systematic component, and a link function.

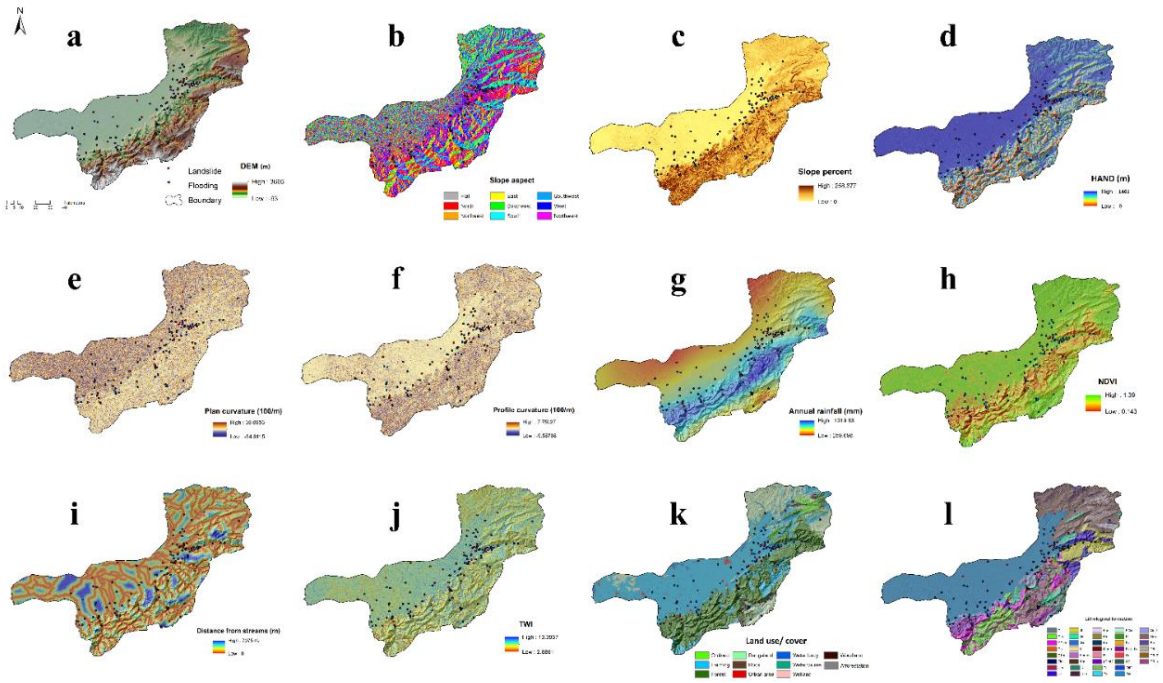


Fig. 3 Selected flood condition factors in the study area; a) altitude, b) slope aspect, c) slope percent, d) HAND, e) plan curvature, f) profile curvature, g) annual rainfall, h) NDVI, i) distance to streams, j) TWI, k) land use/ cover, and l) lithological formations.

Validation of the susceptibility models

The validation task includes a series of conceptual (practicality) and statistical metrics (Chi-square test and ROC curve). An integrated performance index (IPI) was used to incorporate all the metrics above in order to ease the final decision on which model is the premier one. Mathematics are given in Termeh et al. (2018).

Results and Discussion

We used R and ModEco software to run the data mining models. The mapped spatial pattern of flood inundation per each model is illustrated in Fig. 4. Afterwards, each map was classified into five susceptibility classes (very low, low, moderate, high, and very high) based on the natural break classification scheme. According to Table 1, RF model gave the highest performance with the AUROC value of about 0.89, followed by BPANN (0.856), SVM (0.823), and GLM (0.77). Practicality, as the ability of a model to be compendiously focused on highly

susceptible areas, is well addressed by BPANN model, since it resulted in a lesser extent of highly susceptible classes (H+VH).

Chi-square values represent the spatial differentiation power of a model, where here was well tackled by SVM. Therefore, the final decision remains unclear if we are not armed with a suitable integration index. The IPI index revealed that BPANN outperformed all the models considering the different aspects of modeling altogether. This, once again, attests the power of ANNs which is indebted to their robust algorithm for back and forth learning, evaluating, polishing, and predicting processes. According to the Jackknife test derived from the superior model (BPANN) (Fig. 5), five predictors are responsible for flood inundation in the study area namely altitude, distance to streams, annual rainfall, HAND, and slope degree. These are amongst the main involved topoclimatological factors.

Table 1. Selecting the best susceptibility model based on the validation tests and the IPI index

Susceptibility models	AUROC	Practicality (H+VH classes)	Chi-square test		IPI
			Chi-squared value	Significance level (DF=4)	
RF	0.89	30.991	44670.416	P < 0.05	0.504
SVM	0.823	38.431	705257.424	P < 0.05	0.48
GLM	0.77	30.413	52491.822	P < 0.05	0.188
BPANN	0.856	23.932	47702.233	P < 0.05	***0.573***

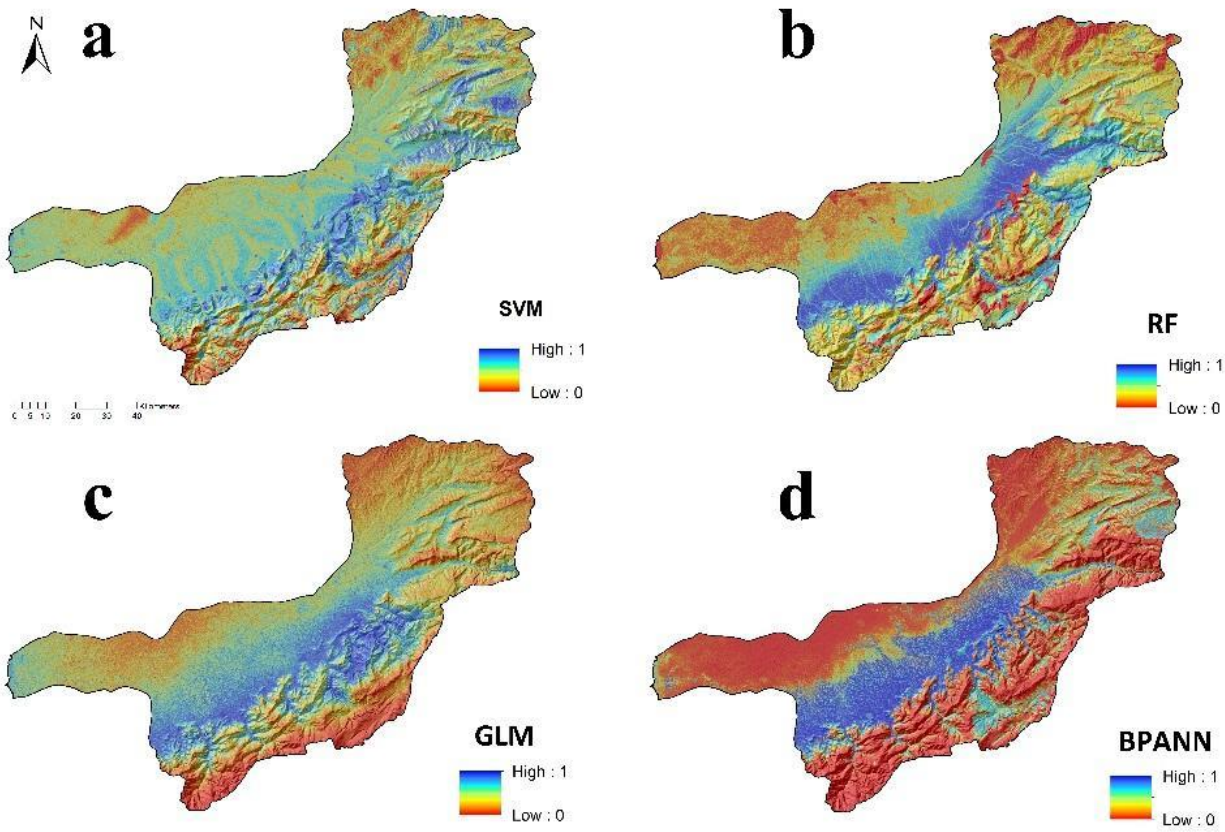


Fig. 4 Mapped spatial pattern of flood inundation using four data mining models; a) SVM, b) RF, c) GLM, and d) BPANN.

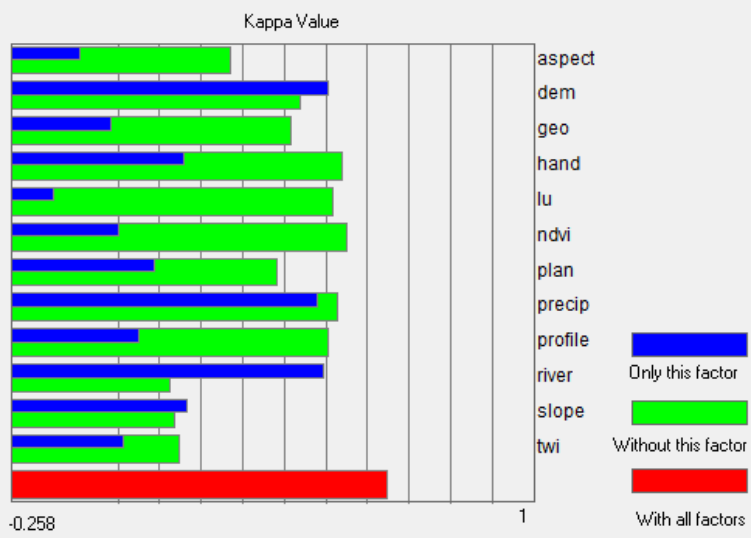


Fig. 5 Jackknife test representing factor importance in the case of one-by-one factor removal (green), using only one factor (blue), and using all factors together (red).

References

[CONRWMGP] Central Office of Natural Resources and Watershed Management in Golestan Province. 2009. Detailed action plan, Iran, 230pp.

Colkesen, I., Sahin, E.K., Kavzoglu, T. 2016. Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. Journal of African Earth Sciences. 118, 53–64.

IPCC. 2012. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M., Eds.; Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA; ISBN 978-1-107-60780-4.

Kornejady, A., Ownegh, M., Bahremand, A. 2017. Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. Catena, 152, 144-162.

Rahmati, O., Kornejady, A., Samadi, M., Nobre, A.D., Melesse, A.M. 2018. Development of an automated GIS tool for reproducing the HAND terrain model. Environmental Modelling & Software, 102, 1-12.

Termeh, S.V.R., Kornejady, A., Pourghasemi, H.R., Keesstra, S. 2018. Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. Science of the Total Environment, 615, 438-451.

Modeling the hydrological characteristics of piping collapse using summary statistics in Golestan province, Iran

Mohsen Hosseinalizadeh, Narges Kariminejad, Mohammad Alinejad
Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Dept. of Watershed &Arid Zone Management, Gorgan, Iran
narges.karimi991@gmail.com

Abstract: Piping, which leads to the formation of underground channels, is a process of mechanical removal of soil particles by concentrated subsurface flows. This investigation aimed to explore the association of collapsed pipes with the most effective hydrologic and geomorphologic factors via fine-scale point pattern analysis. A 703 ha area in the loess-covered hilly region of Golestan Province, Iran was selected and the point map of 345 collapsed pipes obtained by global positioning system (GPS). The pattern of collapsed pipes and their interactions with ridges, drainage network, topographic wetness index (TWI), altitude (DEM), and slope length (LS) were evaluated by univariate pair correlation function $g(r)$, bivariate pair correlation function $g_{12}(r)$, and mark correlation function $k_{mm}(r)$. The univariate summary statistic and bivariate distribution function $g_{12}(r)$ were used to investigate the spatial patterns of piping collapse and the relationship between piping collapse with linear phenomena including ridge and drainage network, separately. $k_{mm}(r)$ were used for analyzing the spatial correlations of marks of two nearby pipes depending on their distance r. Based on the results of the univariate summary statistics, the collapsed pipes had a clustered distribution. The bivariate pair correlation function $g_{12}(r)$ revealed that collapsed pipes had positive interactions with ridges and drainage densities. As explore by Mark correlation function $k_{mm}(r)$, the aggregation of collapsed pipes were confirmed when the values of TWI, DEM, and LS were more than overall average. Consequently, the outcome of this study highlighted the significant effects of investigated characteristics on the distribution of collapsed pipes.

Keywords: Piping collapse, spatial association, summary statistic, Golestan.

Introduction

Collapsed pipes as the most destructive and frequent natural hazards, cause the loss of lives and damage to natural resources (Dagdelenler et al., 2016; Tsangaratos and Ilia, 2016). Therefore, to reduce these losses, it is valuable to evaluate the spatial pattern of collapsed pipes and theirs interactions with the major phenomena in a region. Piping collapse pattern can be defined as the spatial location of the piping collapse occurrences according to a set of geological and environmental conditions. With the development of summary statistics, the configuration of more advanced quantitative method, the production of many studies can capture the spatial structure of the phenomena and their spatial association. Thus, Investigation of these complicated geomorphological patterns and interactions that can be performed by point processing analysis has an important role in understanding the structure of these ecosystems (Lopez et al., 2010; Navarro-Cerrillo et al., 2014).

In nature, there are three basic spatial patterns such as clustered, dispersed, and random patterns of points (collapsed pipes) that often observed in an environment (Sher el al., 2010; Alvarez et al., 2011). The spatial distribution modeling of points (collapsed pipes) via different summary statistics is very useful to understand how they are related to each other. Different summary statistics explain different characteristics of spatial patterns and it is essential to use more than one summary statistic to better understand the distribution of points (collapsed pipes) in an ecosystem (Wiegand et al., 2012). Some of the summary statistics (Diggle, 2003; Illian et al., 2008; Yu et al., 2009; Sher et al., 2010; Wiegand and Moloney, 2014; Ni et al., 2014; Svatek

and Matula, 2015; Erfanifard and Sheikholeslami, 2017) has been commonly used and recently developed in the literature.

Although there has been a growing interest in geology to analyze spatial patterns to better understand of the underlying processes, no statistical studies described the spatial structure and association of piping collapse locations and the applications of these statistical methods (Wiegand and Moloney, 2014). Thus, little is understood how well single summary characteristics, or a combination of them, capture the spatial structure and interaction of real world patterns (i.e., piping collapse, gully erosion, forest fire, and flood).

According to the wide distribution of collapsed pipes in mountain areas, investigation of geological structure of them is importance in order to better understand its intra- and inter-associations. Thus, the main objective of this research is to analyses the pattern of collapsed pipes and theirs interactions with the most effective phenomena such as ridges, drainage network, TWI, DEM, and LS in Golestan Province in Iran, via modeling their spatial distributions (analyzing fine-scale spatial patterns).

Study Area

The Golestan Province is located in the Northeast of Iran and on the south-eastern shore of the Caspian Sea. The study area, the Iky Aghzly sub-catchment, as a part of the Gorganrood Catchment, Golestan Province, located between 55° 38′ to 55° 40′ eastern longitude and 37° 37′ to 37° 39′ Northern latitude, comprises a region of approximately 703 ha with an altitude between 336.374 and 548.01 m (Fig. 1). Based on Iranian Meteorological Organization, the average annual rainfall and temperature in the region are 385 mm and 18.2°C respectively.

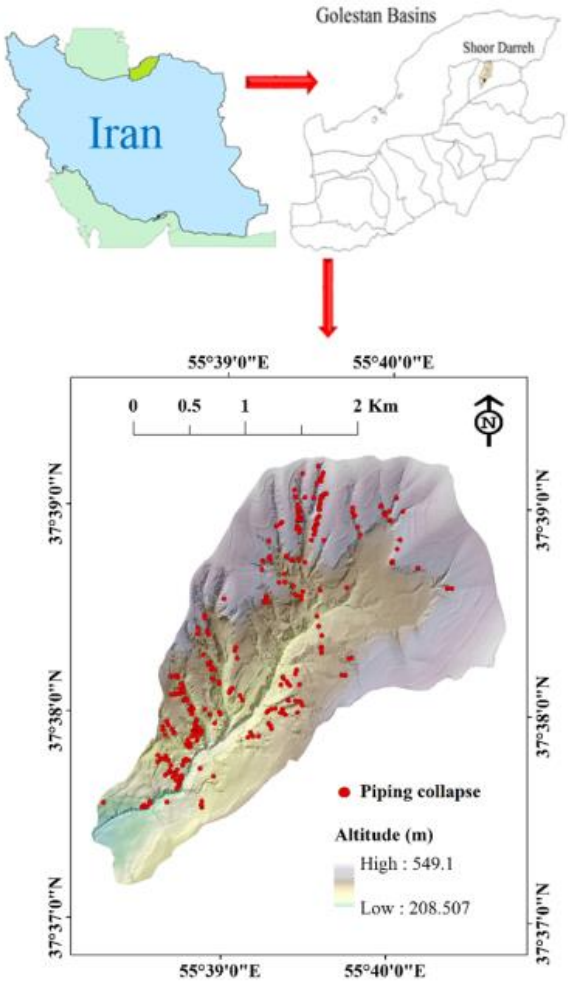


Fig. 2. The study area in Golestan Province, Iran

Methods

Field survey

Field studies such as reconnaissance surveys in the 703.36 ha watershed and intensive studies of the selected collapsed pipes were conducted in order to create the map indicating the location of all collapsed pipes. Thus, the complete point map of the area including collapsed pipes was supplied. The flowchart of the used methodology was presented in Fig. 2.

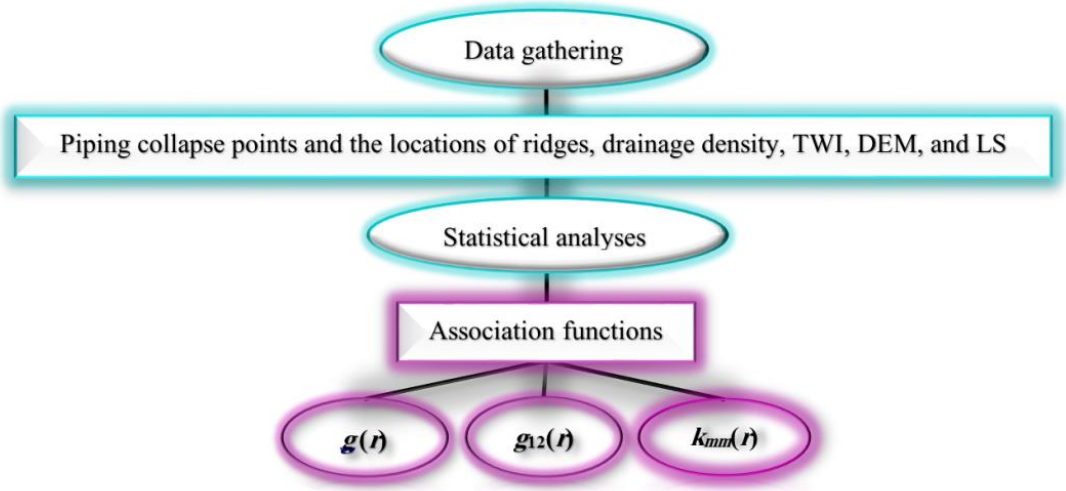


Fig. 2 Methodology, approach and its components

Univariate summary statistics: The pair correlation function $g(r)$ is a spatial correlation function which analyses the change in point density in various scales (Eq. 1). Based on inter-point distances, the g function describes the spatial pattern of points at a given radius r (Svatek and Matula, 2015). Values of $g(r) < 1$ is for dispersed and $g(r) > 1$ is for clustered patterns.

$$g(r)=12\pi rdK(r)dr \quad (1)$$

Bivariate summary statistic $g_{12}(r)$: It is a spatial correlation function that analyses the density changes of points (collapsed pipes) in different scales (Svatek and Matula, 2015). Based on the distance between the points, the bivariate distribution function $g_{12}(r)$ of distance r can be used to describe the relationship between Pattern 1 (piping collapse) and Pattern 2 (linear phenomena including ridge and drainage network) (Wiegand and Moloney, 2014; Getzin et al., 2015) (Eq. 2). Values of $g_{12}(r) < 1$ is for negative and $g_{12}(r) > 1$ is for positive interactions (Yu et al., 2009).

$$g12(r)=12\pi rdK(r)dr \quad (2)$$

Mark correlation function $k_{mm}(r)$: It is used for analyzing the spatial correlations of marks of two nearby circles depending on their distance r. This is analyzed with the mark-correlation function, $k_{mm}(r)$, for the continuous mark 'area' of the fairy circle. In the mark-correlation function $k_{mm}(r)$, the marks of two points i and j ($f(m_i, m_j) = m_i \times m_j$) are separated by distance r (Shen et al., 2013; Wiegand and Moloney, 2014; Ni et al., 2014). If the marks show no spatial correlations, we find $k_{mm}(r) = 1$, and if $k_{mm}(r) < 1$, it means marks of collapsed pipes which are closer together usually smaller than the average. If $k_{mm}(r) > 1$, it means number of marks of collapsed pipes which are closer together higher than that of more isolated collapsed pipes (Stoyan and Stoyan, 1994; Wiegand and Moloney, 2014, Getzin et al., 2015; Erfanifard and Sheikholeslami, 2017).

Confidence envelopes: Significant departure from the null model is estimated using 199 Monte Carlo simulations and approximately 95% confidence envelopes are built by 5th lowest

and 5th highest values of these simulations at each spatial scale r (Nguyen et al., 2014). These analyses are computed in *Programita* Software (Wiegand and Moloney, 2004) and Excel.

Results and discussion

In the present study, the summary statistics, i.e. $g(r)$, $g_{12}(r)$, and $k_{mm}(r)$ are used to analyze the spatial associations of piping collapse locations with the major phenomena. At the first part, the spatial pattern of collapsed pipes is analysed by using point process theory. Regarding the $g(r)$ test statistics the spatial pattern of pipes was aggregate at at scale of 0–50 m which was not normally distributed because the observed distance was higher than the expected distance for a random distribution among the groups of point locations in space. As illustrated in Fig. 3, the spatial clusters of pipes were identified and their aggregated distribution pattern was statistically confirmed.

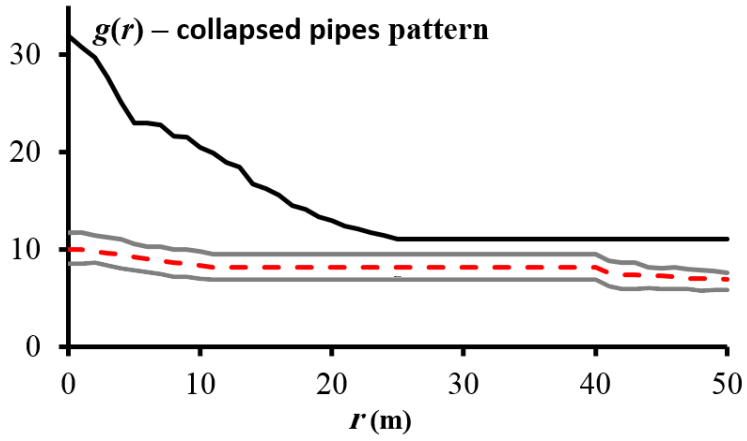


Fig. 3. Spatial pattern analysis of piping based on the univariate summary. The observed summary statistics are indicated by black lines, the simulation envelopes by gray lines and the expectation of the null model by a red dotted line.

At the second part, the spatial relationship between piping collapse distributions with ridges and drainage network were evaluated via bivariate pair correlation function $g_{12}(r)$. As illustrated by the function, the collapsed pipes had positive relationship with ridges and drainage network at scales between 0 to 50 m. Moreover, they are significantly departure from the null model, because the function line out of the Monte Carlo simulation envelope (Fig. 4A and 4B). The next point is that the degree of these spatial aggregation were negatively increase at the large scales. Thus, as the distance increases, the positive interactions between collapsed pipes and these two linear phenomena decrease. This investigation confirmed that piping collapses were located close to the drainage network. Farifteh and Soeters (1999) constructed more than 900 collapsed roofs of pipes, mostly along the drainage network, from aerial photos in a 12 km^2 area in the Basilicata region of southern Italy. The role of hydraulic gradient in pipe development and the association of earth banks with pipe locations can be observed in different literature reviews, including in Poesen (1989), Poesen et al. (1996), and Romero et al. (2007). Thus, it was improved that the bivariate functions provide a better assessment of spatial associations of piping collapse with linear phenomena across specific spatial scales.

At the last part, the spatial association of piping collapse locations with TWI, DEM, and LS as quantitative marks of collapsed pipes were analyzed via mark correlation function ($k_{mm}(r)$). Univariate quantitatively marked patterns comprise the coordinates of a univariate pattern, but each point carries an additional quantitative mark that characterizes the geological object that is idealized as point (Wiegand and Moloney, 2014). Based on the results of mark correlation function $k_{mm}(r)$, TWI, DEM, and LS as the quantitative marks had a positive impact on the establishment of collapsed pipes; It is because the mark's values of the collapsed pipes which are closer together are usually larger than the average (Fig. 5A – 5C). Finality, we can also improve

that the mark correlation function provide a better assessment of spatial associations of piping collapse with the phenomena which are as the marks.

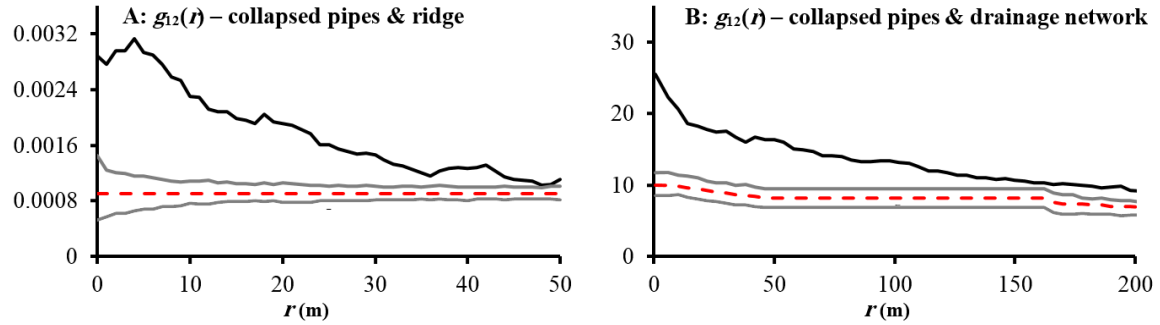


Fig. 4. Spatial association analysis of piping collapse locations with ridge and drainage network based on the bivariate pair correlation function $g_{12}(r)$. The observed summary statistics are indicated by black lines, the simulation envelopes by gray lines and the expectation of the null model by a red dotted line.

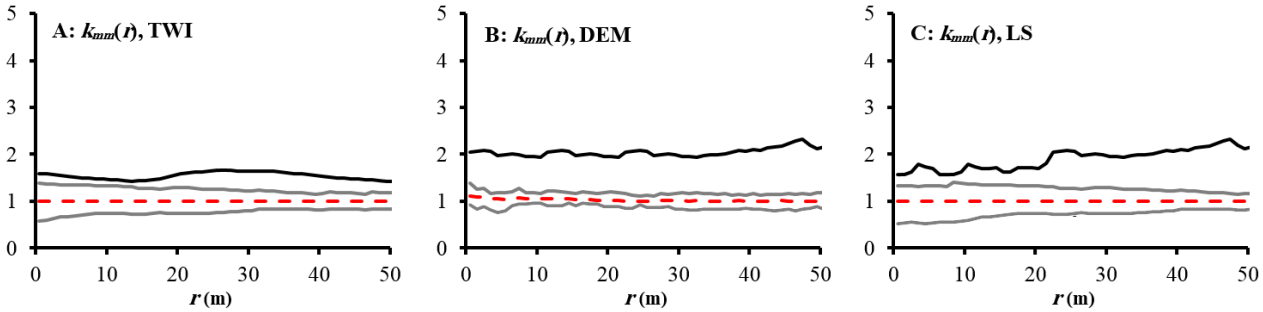


Fig. 5. The quantitative characterization of spatial point pattern analysis of piping collapse locations based on the mark correlation function. The observed summary statistics are indicated by purple lines, the simulation envelopes by gray lines and the expectation of the null model by a red dotted lines.

Conclusion

In this study, we use pair correlation function for analyzing the spatial pattern and interactions of piping collapse locations with linear phenomena. The results of univariate summary statistics g(*r*) indicated that collapsed pipes had significant and aggregated patterns. The results reveal that piping collapse locations with ridges and drainage network had positive interactions at all scales (0-50 m). However, these interactions decrease in large scales. Finally, Mark correlation function *kmm*(*r*) additionally reveal that positively effect of TWI, DEM, and LS with the aggregation of collapsed pipes, when they were more than overall average. In general, the method of determining the absolute spatial pattern has an appropriate efficiency. Therefore, alternative appropriate techniques should be used to reduce the effect of soil piping on land degradation.

References

Alvarez, L.J., Epstein, H.E., Li, J. and Okin, G.S., 2011. Spatial patterns of grasses and shrubs in an arid grassland environment. *Ecosphere*, 2(9), pp. 1-6.

Dagdelenler, G., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., 2016. Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: an application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75, 575-590.

Goncalves, A.C. and Pommerening, A., 2012. Spatial dynamics of cone production in Mediterranean climates: a case study of Pinus pinea L. in Portugal. Forest ecology and management 266, 83-93.

Diggle, P.J., 2003. Statistical Analysis of Point Processes. Academic Press, London, 240 p.

Erfanifard, Y., and Sheikholeslami, N., 2017. Competitive interactions of Persian oak coppice trees (Quercus brantii var. persica) in a pure dry woodland revealed through point pattern analysis. Folia Geobotanica, 1-15.

Farifteh, J. and Soeters, R., 1999. Factors underlying piping in the Basilicata region, southern Italy. *Geomorphology*, *26*(4), pp.239-251.

Getzin, S., Wiegand, K., Yizhaq, H., Hardenberg, J. and Meron, E., 2015. Adopting a spatially explicit perspective to study the mysterious fairy circles of Namibia. *Ecography,* 38, pp. 1-11.

Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H. and Stoyan, D., 2008. *Statistical analysis and modelling of spatial point patterns.* John Wiley & Sons Inc., Chichester, 534 p.

Lopez, R.P., Larrea-Alcazar, D. and Zenteno-Ruiz, F., 2010. Spatial pattern analysis of dominant species in the Prepuna: Gaining insight into community dynamics in the semi-arid, subtropical Andes. *Journal of Arid Environments*, 74, pp. 1534-1539.

Navarro-Cerrillo, R., Manzanedo, R., Bohorque, J., Sanchez, R., Sanchez, J., Miguel, S., Solano, Nguyen, H., Wiegand, K. and Getzin, S., 2014. Spatial patterns and demographics of Streblus Macrophyllus trees in a tropical evergreen forest Vietnam. *Journal of Tropical Forest Science*, 26(3), pp. 309-319.

Nguyen, H., Wiegand, K. and Getzin, S., 2014. Spatial patterns and demographics of Streblus Macrophyllus trees in a tropical evergreen forest Vietnam. *Journal of Tropical Forest Science*, 26(3), pp. 309-319.

Ni, R., Baiketuerhan, Y., Zhang, C., Zhao, X. and von Gadow, K., 2014. Analyzing structural diversity in two temperate forests in northeastern China. Forest Ecology and Management, 316: 139-147.

Poesen, J., 1989. Conditions for gully formation in the Belgian loam belt and some ways to control them. Soil Technol. Ser. 1, 39-52.

Poesen, J., Vandaele, K., Van Wesemael, B., 1996. Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands, in: Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium July 1996). IAHS Publ. pp. 251-266.

Romero Díaz, A., Marín Sanleandro, P., Sánchez Soriano, A., Belmonte Serrato, F., Faulkner, H., 2007. The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. Catena 69, 282-293.

Stoyan, D. and Stoyan, H., 1994. Fractals, random shapes and point fields: methods of geometrical statistics. John Wiley & Sons Inc., England, 387 p.

Shen, G., T. Wiegand, X. Mi, and F. He 2013. Quantifying spatial phylogenetic structures of fully mapped plant communities. *Methods in Ecology and Evolution*. 4:1132-1141.

Sher, A.A., Wiegand, K. and Ward, D., 2010. Do *Acacia* and *Tamarix* trees compete for water in the Negev desert? *Journal of Arid Environments*, 74, pp. 338-343.

Svatek, M., Matula, R., 2015. Fine-scale spatial patterns in oak sprouting and mortality in a newly restored coppice. Forest Ecology and Management 348, 117–123.

Tsangaratos, P., Ilia, I., 2016. Landslide susceptibility mapping using a modified decision tree classifier in the Xanthi Perfection, Greece. Landslides, 13, 305-320.

Wiegand, T. and Moloney, K.A., 2004. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *OIKOS*, 104, pp. 209-229.

Wiegand, T. and Moloney, K.A., 2014. *Handbook of spatial point-pattern analysis in ecology.* CRC Press, New York, 538 p.

Yu, H., Wiegand, T., Yang, X., Ci, L., 2009. The impact of fire and density-dependent mortality on the spatial patterns of a pine forest in the Hulun Buir sandland, Inner Mongolia, China. Forest Ecology and Management 257, 2098–2107.

Analysis of hydrometric networks using entropy

***Pádua L.*, Naghettini M., Silva F.**
Minas Gerais Federal University, Brasil
lhr.padua@gmail.com

Abstract: The collection, monitoring and maintenance of continuous and accurate information, generated by fluviometric stations of a hydrometric network, is fundamental importance to support the development of studies related to hydrology and hydraulics, such as flood control and the implementation of hydraulic strutures. In this work, we used models that seek to evaluate the number of stations and the quality of the information generated by the hydrometric network of a hydrographic basin, using information theory concepts. The underlying idea is that of the so-called optimal network, whose function, according to the World Meteorological Organization (WMO), is to optimally and cost-effectively meet the primary goal of hydrometry, namely to provide the necessary information with a minimum number of stations correctly positioned in the basin. The evaluated models were applied to the Velhas River subbasin belonging to the São Francisco River basin in Brazil. This choice is justified by the insertion of this sub-basin in an area of great economic, environmental and social importance, besides with the few studies applied to the large hydrographic basins of tropical climate characteristics, such as those found in Brazil. The results showed that the models analyzed, which use the concept of entropy, are adequate and efficient for the evaluation of existing hydrometric networks, since they allow the reduction of eventual redundancies when seeking the maximization of the information generated.

Keywords: Entropy, Hydrological Modeling, Hydrometric Network, Streamflow, Theory of Information, Velhas River.

Introduction

The main objective of this work is to evaluate the existing hydrometric network of the Velhas River basin, located in the central region of the State of Minas Gerais, Brazil. The watershed of the Velhas River, the largest tributary of the São Francisco River basin, is approximately 761 km long. Its basin comprises an area of 29,173 km^2, as can be seen in Figure 1.

The hydrometric network, according to WMO (2008), can be defined as a set of facilities developed for the purpose of collecting data from the different components of the hydrological cycle, designed and operated to support decision making compatible with the broad context of hydrology and hydraulics. In order to identify the optimum network, as defined by WMO (2008), which refers, in synthesis, to the identification of the stations already in place, which allow to better characterize the seasonal flow regime (greater generation of information), and those whose generated information is redundant, and therefore can be relocated or even deactivated.

In relation to the existing fluviometric network, seven fluviometric stations along the course of Velhas River, operated by the Brasil National Water Agency (ANA), were selected in the study area. The data used by the selected stations refer to the average monthly streamflows, collected over a period of 19 years, between 1994 and 2013.

Methodologies based on information theory (Shannon, 1948) were used to analyze the hydrometric network, which sought to evaluate the number of stations and the quality of the information generated by the hydrometric network in hydrographic basins. It is worth noting the relevance of the application of these methodologies in Brazilian tropical basins, characterized by large geographic dimensions, between urban and rural areas, and with a large seasonal variation of their flows.

The choice of a methodology that uses the concept of entropy for this study, comes from its conceptual basis, strongly linked to the analysis of the variance of the flow series. Thus, it is possible to evaluate if in these extreme cases, such as those observed in Brazilian basins, such methods can, in an appropriate way, evaluate and indicate an optimal fluviometric network.

Methods

Two different models of hydrometric network analysis based on the concept of entropy were used. The first one, developed by Alfonso et al. (2010), called Water Level Monitoring Design in Polders (WMP) and the second model developed by Li et al. (2012), called Maximum Information Minimum Redundancy (MIMR).

Methodologies for the study of hydrometric networks based on information theory use the concept of entropy as a basis for evaluating the amount of information generated by each station, or a set of stations. The entropy can be defined as the information contained in a discrete (or discretized) random variable, used to quantify the uncertainty of a set of results (x_i), among n occurrences of a random process (Samuel et al., 2013), being expressed as follows (Shannon, 1948):

$$H(X)= -i=1np(xi)\log p(xi) \quad (1)$$

The unit of measure of entropy is usually given in bits if the logarithmic basis is 2, which was used in this study. Hereinafter, the logarithmic basis will be omitted unless it is necessary to express it on a basis other than 2.

In equations 1 and 2, *H* refers to the standard notation for the amount of information, according to Shannon (1948). In these equations, *X* represents a discrete random variable and its entropy will be denoted by *H(X)*. This means that *X* is not an argument of a function, it represents only the indication of that variable to differentiate from another possible variable *Y*, which would have its entropy represented by *H(Y)*, for example.

In general, the study of a hydrometric network is directed to more than one random variable (observed in a given station). Thus, some properties are very useful, as in the case of joint entropy. In this case, considering two random variables, *X* and *Y*, and the joint entropy will be:

$$H(X,Y)=-i=1nj=1mp(xi,yj)\log p(xi,yj) \quad (2)$$

According to Cover and Thomas (2012), another important relation refers to the information between two random variables, sometimes also called transinformation, that is the relation that expresses the reduction of the uncertainty of *X* due to the knowledge of *Y*. This relation commonly denoted by *I* is expressed as follows:

$$I(X;Y)=i=1nj=1mp(xi,yj)\log p(xi,yj)p(xi)p(yj) \quad (3)$$

Finally, according to Alfonso et al. (2010), accessing the total information among all the random variables under study at the same time, without considering any dependence among them by possible partial combinations, introduce the concept of total correlation *C*, where:

$$C(X1, X2,\ldots, Xn)=i=1nH(Xi)-H(X1, X2,\ldots, Xn) \quad (4)$$

Both models use as a basic premise the multiobjective solution of a system of equations, aiming at maximizing the information generated by the hydrometric network and minimizing redundant information.

The WMP model works under an algorithm whose objective is to solve the system of equations, as shown in equation 5, seeking the maximization of the joint entropy and the minimization of the total correlation.

$$\{\text{Max. } H(X1)+\ldots H(Xi)\text{-Min. } j=1i-1C(Xi;Xj)\} \quad (5)$$

The second model used, MIMR, seeks the optimum lease of the stations studied by maximizing the network entropy, maximizing the transinformation and minimizing the information redundancy between the stations (total correlation), according to equation 6:

$$\{\text{Max. } \lambda1(H(X1)+\ldots H(Xi))+j=1i-1I(Xi;Xj)-\lambda2j=1i-1C(Xi;Xj)\} \quad (6)$$

In equation 6, according to (Li et al., 2012), the coefficients λ_1 and λ_2 were added. These function as an additional feature, so that the analysis operator can according to their perception of the system, adjust the portions of the equation according to their respective representations, or

weights. That is, the operator can arbitrate more or less importance to the total information or, if there are doubts, allocate greater weight to the redundancy of the information generated.

For the application of the models, first, it is necessary to discrete the series of continuous data of the stations studied, to obtain the number of events *n* of each station. In this work, we chose to follow the methodology proposed by Alfonso et al. (2010) using the discretization of the data by a mathematical leveling function, where a continuous value of the data series *x*, is converted to a nearest integer, multiplied by a constant *a*, according to equation (7):

$$xq=a(2x+a2a) \quad (7)$$

As a result of these methodologies, a ranking of the existing stations is expected, indicating which set of stations is capable of generating more information to the network, and which stations may not be contributing effectively and increasing maintenance costs operation.

Results

The information regarding the basic statistics of the fluviometric stations of the study area are shown in the upper part of Table 1. The geographical location of these selected stations for the application of the models is shown in Figure 1. It is worth mentioning the data referring to the variance. In general, it is noticed that the variance of the seasons is increasing from the direction of the headwaters to the exudation of the basin, which corroborates the finding found by Li et al. (2012). However, according to these same authors, even with an increasing variance towards the exudate, and consequently a greater entropy, the stations of the hydrometric network should not be selected prematurely considering only this aspect. Such an approach would not ensure less redundancy between the selected stations.

Then, the continuous series data of the stations were discretized using equation 7. The value of a was obtained according to the methodology proposed by Li et al. (2012), by trial and error, varying this coefficient until an optimal interval was obtained, around the value of 300 m^3/ s. Such a value, not being small enough to make it difficult to analyze the stations due to the similar entropy values generated, and not so large as to cancel out the entropy of the stations closest to the head of the basin allows all stations information.

After this step, the entropy of the stations and the set were calculated, as well as the correlations between them, shown in Table 1. The entropy value of the stations increases as they approach the basin extubation, confirming the previous statements of similarity with the variance of the data series. The calculated entropy of the 7 stations was 5.55 bits, which represents the maximum information that can be extracted from them (Li et al. 2012). The total correlation obtained was 2.01 bits, which means the total of duplicate information contained in the system. The sum of the individual entropies is 7.55 bits.

The two methodologies proposed for the analysis of the stations and their rank, that is, among the 7 stations, which generate higher values of entropy, were used to obtain information about the amount of information or entropy of the system aggregate more information to the network, but at the same time do not have redundant information.

The first methodology applied was MIMR. The results of the ranking, in order according to the interaction step and respective IDs, are presented at the bottom of Table 1.

This result was obtained using both coefficients λ_1 and λ_1 of equation 6, the value of 0.50. This value was obtained by the same methodology proposed by Li et al. (2012).

In a first analysis of these results, some characteristics were expected, such as the rank starting with the ID 7 station, located at the point of greatest entropy downstream of the basin. This result refers to the basic configuration of the algorithm, derived from the methodology initially proposed by Krstanovic & Singh (1992), which starts the ranking by a central station, defined by the one with the highest entropy of the set.

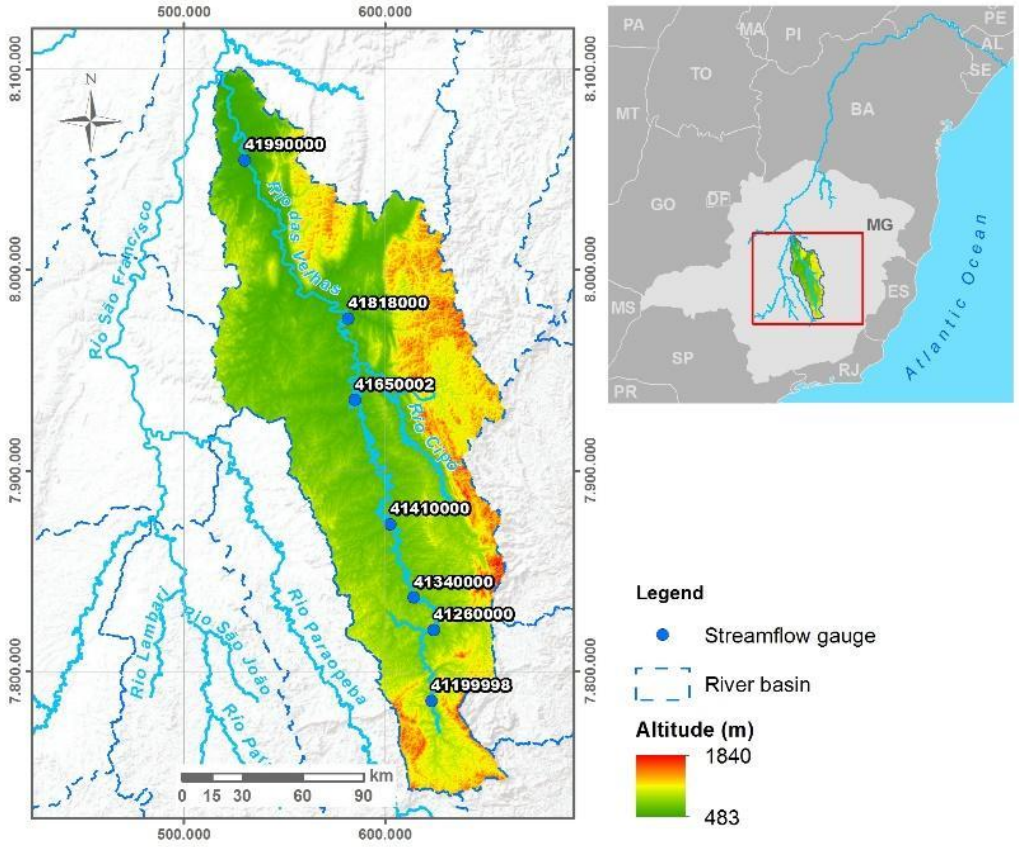


Fig. 1 Velhas River location map and location of selected fluviometric stations

A second and important point observed in the ranking is that the sequencing of the ranks did not prevail by the decreasing value of the entropy of the stations or by their variances. Thus, the existence of redundant information in the system, as observed by the calculation superior to zero of the total correlation, shows that assigning the stations of a network simply by its maximum entropy values does not lead to the best set and can generate more redundant information.

Another point relates to joint entropy. It is noticed that it increases as a new station is included in the optimal set of the network. The reason for this may be related to the low number of stations for such a large basin. However, although it may set up a logical idea to add more stations, and thus increase the total system information, this action, in principle, should not be performed. Even though an increase in joint entropy is observed after the insertion of the ID 1 station, it has a small increase and well below the partial increases previously seen. This small increase, also observed by Li et al. (2012) indicates that the addition of new stations at these sites does little to increase the overall system information. This finding is related to the redundancy of the generated information, thus indicating its relocations or even uninstallation. Another finding of this important observation refers to the set of the first four stations ranked, which covers almost 90% of the system information, 4.92 bits. The relocation indication of stations 1, 2 and 4 may also be justified by their locations, as stations 1 and 2 are closer to the headwaters of the basin, and station ID 4 is close to two other stations.

The WMP methodology was applied. The rank of the stations was then obtained as shown in the lower part of Table 1.

A very great similarity between the results of the WMP methodology in relation to the results obtained by the MIMR methodology is observed. The ranking, although slightly different, remained unchanged for the stations belonging to the optimal set, represented by the first four stations (7, 5, 6 and 3). As in the previous methodology, the same stations (1, 2 and 4) are

pointed as little contributors to the system. Again, when analyzed by the joint entropy, the set of 4 optimal stations represents almost 90% of the system-wide information.

Thus, by applying both methodologies, one could recommend the relocation of stations 1, 2 and 4 in order to improve their contributions to the monitoring system of the Velhas River, since, under the focus of the amount of information, they are contributing redundantly to the system.

Table 1 Data of the stations used in the study and results obtained.

Basic characteristics of fluviometric station							
ID	Station	Var	DP	Máx	Mín	H	
1	41199998	5292.40	72.52	459.00	13.4	0.22	
2	41260000	22031.3	148.1	800.00	13.5	0.69	
3	41340000	41875.6	204.3	1421.00	21.9	0.82	
4	41410000	77387.2	277.8	1772.00	39.8	1.05	
5	41650002	51136.4	225.5	1165.00	32.2	1.22	
6	41818000	195509.2	441.1	2356.00	50.1	1.63	
7	41990000	347111.2	587.9	2475.0	63.8	1.93	
Results of the models for the set of stations							
WMP							
STEP	1	2	3	4	5	6	7
ID	7	5	6	3	2	1	4
H	1.93	2.98	4.31	4.92	5.25	5.36	5.55
C	0.00	0.17	0.47	0.67	1.03	1.14	2.00
MIMR							
STEP	1	2	3	4	5	6	7
ID	7	6	3	5	1	2	4
H	1.93	3.43	4.13	4.92	5.05	5.36	5.55
C	0.00	0.13	0.25	0.67	0.77	1.14	2.00

*Streamflow is measured in m^3/s

Conclusions

The results found corroborate those found by Alfonso et al. (2010) and Li et al. (2012), showing the adequacy of these methodologies, now analyzed in hydrographic basins in tropical Brazil. However, a result different from that pointed out by Li et al. (2012), which presents the MIMR methodology as superior to the WMP when analyzing its capacity of geographic location of the stations, these methodologies being equivalent only to obtaining the optimal set of stations in terms of quantity of information. In the present study, the results obtained demonstrate a certain correspondence between the methodologies, since the great similarity of the optimal set formed by the same four stations.

It is worth mentioning the great contribution that such methodologies add to this line of research focused on the study of hydrometric networks, a problem faced in all countries that seek to optimize their networks and reduce costs. It is recommended the continuation of this type of study to improve the methodologies and analysis of hydrometric networks.

References

Alfonso, L., A. Lobbrecht, and R. Price. Information theory–based approach for location of monitoring water level gauges in polders // *Water Resour. Res.*, 46, W03528, doi:10.1029/2009WR008101, 2010a.

Alfonso, L., A. Lobbrecht, and R. Price. Information theory applied to evaluate the discharge monitoring network of the Magdalena River *// Journal of Hydroinformatics*., 2013.

Krstanovic, P. E., and V. P. Singh (1992a), Evaluation of rainfall networks using entropy: I. theoretical development, // *Water Resour. Manage*., 6, 279–293, doi:10.1007/BF00872281.

Li, C., V. P. Singh, e A. K. Mishra. Entropy theory-based criterion for hydrometric network evaluation and design: Maximum information minimum redundancy // *Water Resour. Res*., 48, W05521, doi:10.1029/2011WR011251, 2012.

Samuel, J., P. Coulibaly, and J. Kollat (2013), CRDEMO: Combined regionalization and dual entropy multiobjective optimization for hydrometric network design, *// Water Resour. Res*., 49, 8070–8089, doi:10.1002/2013WR014058.

Shannon, C. E. (1948), A mathematical theory of communication, *// Bell Syst. Tech. J.*, 27, 379–423.

World Meteorological Organization (WMO). Guide to hydrological practices, volume I: Practices

hydrology—From measurement to hydrological information *// WMO 168*, 16th ed., 2008, Geneva, Switzerland.

Runoff Control using Soil Amendments

Zeinab Karimi[1], Seyed Hamidreza Sadeghi[2]
[1]Young researchers and elite club, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
[2]Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran
sadeghi@modares.ac.ir

Abstract: Since the lack of water resources management in developing countries creates lot of damages, adoption of water resources management measures is very significant. Towards that, different practices like application of amendments have been developed. However, details on their proper applications are still lacked. To this send, the present study was formulated to investigate the effect of powder and solute application of polyacrylamide (PAM) as one of the oft-used soil amendments on runoff generation from a clay-loamy soil of Marzan Abad-Kandelus Road in Mazandaran Province, Iran. The experiments were taken place at the Soil Erosion and Rainfall Simulation Laboratory of Tarbiat Modares University of Iran. To conduct the study, three small cubic plots with upper dimensions of 0.5 m and depth of 0.3 m placed at a slope of 30% were treated by 0 (control) and 6 gm^{-2} of powder and solute PAM with simulated rainfall intensities of 50 and 80 mm h^{-1} and respective duration of 17 and 8 minutes in three replicates. The results obtained from general linear model (GLM) verified significant effect of powder and solute PAM (P=0.02), rainfall intensity (p=0.00) and also usage type×rainfall intensity (P=0.002) on runoff generation. In addition, powder application of PAM reduced runoff more than solute PAM with lesser effect for intensive rains. From the results, the powder application of PAM is recommended as an available amendment for controlling runoff.

Keywords: Hydrologic Behavior, Rainfall Simulation, Runoff Control, Soil Amendments

Introduction

Over-exploitation of natural resources due to population increase and a growing demand for food products leads to land degradation ultimately followed by accelerated soil erosion and runoff generation. Therefore, various methods have been introduced to control soil erosion and runoff. Among which the application of amendments is one of the newest ones. Soil amendment consist of any material, such as lime, gypsum, sawdust or other amendments applied for soil and water conservation (Taleb Bidokhti et al. 2003). In this context, the knowledge about types and choice of appropriate amendment is of considerable effect. PAM is one of the usual amendments used for soil and water conservation Green and Stot (2001) to stabilize the soil structure and reduce runoff and soil erosion. Previous studies in recent years verified the considerable effect of PAM in controlling runoff and soil erosion. Although there are lot of studies about powder or solute application of PAM on runoff control (Shahbazi et al. 2005; Shekofteh et al. 2005; Goodson et al. 2006; Sepaskhah & Bazrafshan-Jahromi 2006; Ghorbani Vaghei et al. 2008; Karimi and et al. 2015; Kumar & Saha 2011; Hezbavi et al. 2012; Afrasiab & Chari 2013; Sadeghi et al. 2013; Shin et al. 2013; Prats et al. 2014; Inbar et al. 2015; Sadeghi et al. 2015), the comparative effects of superficial application of powder and solute PAM for using in non-agricultural lands have not been considered. However, there are a few studies about comparative application of PAM the under construction conditions (Roa-Espinosa et al. 1999; McLaughlin et al. 2014) and agricultural areas Shomaeker (2009) on controlling runoff and soil erosion.

Scrutinizing the available literature showed that although there are lots of literatures on using type of application of PAM for runoff and soil erosion control, there is no documented report on effectiveness of powder and solute application of PAM on runoff control for non-agricultural soils. The present study was therefore planned to determine the efficiency of powder or solute application of PAM on runoff control under laboratorial conditions.

Methods

Site description

A clay-loam soil was collected from the top layer of a Marzan Abad-Kandelus Road in Mazandaran Province, Iran located in latitude of 51˚ 24′ 30″, longitude of 38˚ 28′ 46″ and altitude of 1950 m. The mean annual precipitation and temperature were about 432 mm and 11.9 ˚C, respectively. The soil was then prepared for application of laboratorial condition using previously reported methods (Karimi et al. 2015).

Properties of rainfall simulation

The rainfall experiment was conducted at the Faculty of Natural Resources of Tarbiat Modares University (TMU), located in Noor City, Mazandaran Province, Iran. A portable rainfall simulator suitably adapted for simulation of particle size and distribution of rainfall in northern part of Iran (Sadeghi et al. 2013) and with a height of about 4 m. A BEX: 3/8 S24W pressure nozzles was applied for the study creating an average terminal velocity of about $7ms^{-1}$ (Duiker et al. 2001; Sadeghi et al. 2013) and water drop mean diameter of 1.18 mm for the entire area of the study plots. For each event, the time to runoff initiation was recorded as the elapsed time between the start of rainfall and the time at which surface runoff began entering the runoff collection container at the lower end of the plot. The collection gutter at the lower end of each box was protected by a shield to prevent rainfall from direct entering the collection container.

Plot characteristics

The laboratorial experiments were conducted using 0.25 m^2 (0.5 m × 0.5 m) erosion plots with the depth of 0.3 m and the slope of 30% similar to the slope of the soil origin (Hazbavi et al. 2012; Karimi et al. 2015) equipped with a spillway designed to collect runoff from the plot. The experiments were conducted to study the effect of powder and solute application of PAM on runoff generation using simulated rainfall in three replicates. The preparation of experimental plots with the aim of investigating the effect of soil amendment on runoff control was followed using the methods documented by (Sadeghi et al. 2015). So that, three layers of mineral pumice grains with different sizes and a total thickness of 17 cm were used as a filter layer and placed at the bottom of the plots to simulate natural drainage conditions and decreasing plot weight (Sadeghi et al. 2015). Each experiment was also covered by new soil for separate application of powder and solute PAM.

Polyacrylamide treatments

In the present study, an anionic PAM due to successful reports on effect on runoff reduction (Shin et al. 2013; Prats et al. 2014) was used. According to background of existing research (Sepaskhah & Bazrafshan-Jahromi 2006; Shahbazi et al. 2005; Shekofteh et al. 2005; Hazbavi et al. 2012), control treatments and soil amendments including powder and solute (solved in 200 ml of urban water) PAM with similar level of 6 gm^{-2} was considered. Finally PAM was distributed by sprayer over the plots surface (Shekoftot et al. 2005). The rainfalls with intensities of 50 and 80 mm h^{-1} and respective duration of 17 and 8 minutes were simulated on the plots after 48 h of using PAM and the necessary samples were taken. All experiments (18) were performed in three replicates, as a factorial design comprising treatments control (6) and powder and solute PAM (12).

Statistical analyses

In order to evaluate the general effects of study treatments, the database of runoff data were established in Excel 2010 software. The data were subjected to a General Linear Model (GLM). The relations among variables were then investigated. The appropriate application the PAM was accordingly reported.

Results

The average runoff volume for the study treatments have been shown in Table 1. Scrutinizing Table 1 showed that the powder and solute application of PAM reduced runoff in both intensities, but powder of application of PAM had more appropriate and better effect on runoff reduction. The mean benefit of reduction of powder and solute application of PAM on runoff in both intensities of 50 and 80 mm h^{-1} were 0.61 and 1.63 L (powder), and 1.30 and 1.79

L (solute), respectively. It verified that the powder application could store more runoff leading to more infiltration as already reported by (Shin et al. 2013). It was further implied from Table 1 that the total runoff from treated plots was statistically different from that obtained for the control plot due to the high variation within the repetitions of the control. (Ghorbani Vaghei et al. 2008) also stated as rainfall intensity increase, rain drops with higher speed fall on the ground surface.

The results of statistical comparisons among treatments resulted from the application of the General Linear Model (GLM) using post hoc analysis has been given in Table 2. The results of the GLM test indicated that the effects of rainfall intensity (0.00), usage type (0.02) and usage type×rainfall (0.02) on changing runoff was significant at level of 99%. The results (Table 2) also showed that the PAM treatments essentially reduced runoff (Roa-Espinosa et al. 1999; McLaughlin et al. 2014; Inbar et al. 2015). The effective role of PAM on increasing aggregate stability and preventing crust formation has been reported by (Shin et al. 2013) and (Ghorbani Vaghei et al. 2008) but this disagreed (Shahbazi et al. 2005).

Table 1 Runoff benefit reduction (L) of powder and solute PAM (6 gm^{-2}) and rainfall intensities

Treatments		Control		Powder Application		Solute Application	
Rainfall Intensities (mm h^{-1})		50	80	50	80	50	80
Plot No.	1	1.49	1.81	0.64	1.75	1.83	1.78
	2	1.25	2.31	0.47	1.49	0.79	1.54
	3	1.21	2.29	0.70	1.65	1.30	2.07
Average		1.32	2.14	0.61	1.63	1.30	1.79
Standard deviation		0.15	0.29	0.12	0.13	0.52	0.26

Table 2 Results of GLM test for determination of rainfall intensities and conservation treatment on runoff generation

Source	*Dependent variable*	*Sum of squares*	*df*	*Mean squares*	*F*	*Significant level*
Polyacrylamide (6 gm^{-2})	Usage type	5995.78	2	2997.89	4.85	0.02
	Rainfall intensities	59953.76	1	59953.76	96.98	0.00
	Usage type×Rainfall intensity	5971.39	2	2985.69	4.83	0.02

Conclusion

Few studies have discussed the effects of application type of PAM under different rainfall intensities. This study evaluated the effects of application of PAM on runoff reduction at small plot scale. Our simulation experiments showed that powder and solute PAM reduced the runoff in both application. But, the powder PAM reduced runoff more than solute PAM with lesser effect for intensive rains. Therefore, it is recommended as a cheap amendment for controlling hydrologic behavior. However, runoff reduction depended on the application of PAM, application rate, methods of use, soil type and texture and finally soil surface and cover. Extensive studies therefore are needed to be conducted in field on runoff production to reach a final conclusion.

References

Afrasiab P., And Chari M. Effect of polyacrylamide on runoff, soil erosion and water infiltration on slopes using rainfall simulator // Journal of Water Research in Agricultural, 27 (2)., 2013: 261-290. (In Persian)

Duiker S. W., Flanagan D. C., and Lal R. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain // Catena, 45., 2001: 103–121, 2001.

Goodson C.C., Schwartz G., and Amrhein C. Controlling tail water sediment and phosphorus concentrations with polyacrylamide in the Imperial Valley. California // Journal of Environmental Quality, 35., 2006: 1072-1077.

Green V.S., and Stott D.E. Polyacrylamide: A review of the use, effectiveness, and cost of a soil erosion control amendment // 10th International Soil Conservation Meeting, May 24-29, 1999, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 2001: 384-389.

Ghorbanie vaghei H., and Bahrami H. A., Ghafarian Mogharab M. H., Shahab H., and Taliee Tabari P. Efficiency of anionic polyacrylamide in water infiltration rate of the soil // Journal of Soil and Water Research, 39 (1)., 2008: 77-84. (In Persian)

Hazbavi Z., Sadeghi S. H. R., and Younesi H. A. Analysis and assessing effectability of runoff components from different levels of polyacrylamide // Journal of Soil and Water Conservation, 2 (2)., 2012: 1-12. (In Persian)

Inbar A., Ben-Hur M., Sternberg M., and Lado M. Using polyacrylamide to mitigate post-fire soil erosion // Geoderma, 239., 2015: 107-114.

Karimi Z., Sadeghi S.H.R., Bahrami H.A., Changes runoff production during rainfall due to powder and solute application of polyacrylamide of different levels // Iranian Journal of Soil and Water Research, 46 (3)., 2015: 443-453. (In Persian)

Kumar A., and Saha A. Effect of Polyacrylamide and Gypsum on Surface Runoff, Sediment Yield and Nutrient Losses from Steep Slopes // Agricultural Water Management, 98., 2011: 999-1004.

McLaughlin R., Amoozegar A., Duckworth O., and Heitman J., Optimizing Soil-Polyacrylamide Interactions for Erosion Control at Construction Sites // Water Resources Research Institute of the University of North Carolina. Report No. 441., 2014. 47.

Prats S.A., Martins M.A.S., Cortizo M.M., Ben-Hur M., and Keizer J.J., Polyacrylamide application versus forest residue mulching for reducing post-fire runoff and soil erosion // Science of the Total Environment, 468., 2014: 464-474.

Roa-Espinosa A., Bubuenzer G.D., and Miyashita E.S. Sediment and runoff control on construction sites using four application methods of polyacrylamide mix // American Society of Agricultural Engineers Annual Meeting Paper No., 1999: 99-2013. Available at (webapp1.dlib.indiana.edu.sci-hub.org).

Sadeghi S.H.R., Abdollahi Z. and Khaledi Darvishan A.V. Experimental comparison of some techniques for estimating natural rain drop size distribution in Caspian Sea Southern Coast // Iran, Hydrological Sciences Journal, 58(6)., 2013: 1374-1382.

Sadeghi S.H.R., Gholami L., Homaee M. and Khaledi Darvishan A. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale // Solid Earth, (7)., 2015: 63-89.

Sepaskhah A.R., and Bazrafshan-Jahromi A.R., Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator. Biosystems Engineering, 93(4)., 2006. 469-474.

Shahbazi A. S., Sarmadian F., Refahi H., and Gorgi M. Effect of polyacrylamide on soil erosion and runoff Saline-sodium soils // Journal of Agricultural Science, 36 (5)., 2005: 1103-1112. (In Persian)

Shekofteh H., Refahi H., and Gorgi M., Effect of chemical amide soil erosion and runoff. Iranian Journal of Agricultural Science, 36 (1)., 2005: 177-186. (In Persian)

Shin M.H., Won C.H., Jang J.R., Choi Y.H., Shin J.Y., Lim K.J., and Choi J.D. Effect of surface cover on the reduction of runoff and agricultural NPS pollution from upland fields // Paddy Water Environment, 11., 2013: 493-501.

Shoemaker A.E. Evaluation of Anionic Polyacrylamide as an Erosion Control Measure Using Intermediate-Scale Experimental Procedures // Auburn University MSc Thesis, USA., 2009: 220p.

Taleb Bidokhti N., Shahoee S.S., Bahnia A., Behbodi F., Sadeghi S.H.R., Malak A., and Sharifi F. Professional culture of erosion and sedimentation // the Iranian National Commission for UNESCO Publication., 2003: 386 p. (In Persian)

Bioregional Assessments: a robust methodology for carrying out cumulative impact assessments

Post D.A.
CSIRO Land and Water, Canberra, Australia
david.post@csiro.au

Abstract: Cumulative impact assessments are a valuable method for determining the impacts of multiple stressors on water resources. These have important application in assessing competing demands for water, as well as determining who is responsible for impacts that may require compensation to be paid. Carrying out cumulative impact assessments is not a trivial task. Typically, it involves multiple hydrological and other models in order to adequately represent the range of stressors that may impact water resources. The Bioregional Assessment methodology presented here is one way of carrying out a cumulative impact assessment. It has recently been applied to determine the cumulative impacts of multiple coal resource developments on water resources and associated water-dependent assets in Australia. It involved running a chain of models to understand how impacts might propagate from a mine site to water-dependent assets, which may be many kilometers away. Firstly, a conceptual model was built in order to represent the pathways via which hydrological changes could propagate through the system. Secondly, a geological model was built to represent the deep earth system in a way that could be codified into a groundwater model. Thirdly, a groundwater model was built to represent the impact of the depressurisation of aquifers both laterally and vertically. Fourth, surface water-groundwater interactions were modelled and changes propagated from the groundwater system to the surface water system. Fifth, these changes in surface water were modelled using both catchment and river routing models. Finally, the impacts of these changes in hydrology on ecosystems were modelled. Such a chain of models requires expert input from a number of disciplines, as well as a system for linking these models together and understanding how hydrological changes (and their associated uncertainties) propagate.

Keywords: Bioregional Assessments, water resources, cumulative impact assessments

Introduction

There have been a number of proposals to further develop coal seam gas and coal resources in eastern Australia. These developments may have an impact on water resources and the environment. The Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), in partnership with the Department of Environment and Energy, the Bureau of Meteorology and Geoscience Australia, have undertaken a series of cumulative impact assessments (known as 'Bioregional Assessments') to assess the potential impacts of coal resource development on water resources and water-dependent assets such as wetlands and groundwater bores. The proposed coal resource developments considered include the extraction of approximately 41,000 MT of coal across 58 new mines or expansions to existing mines, as well as approximately 16,000 PJ of natural gas from eight new coal seam gas developments (Figure 1). These developments are worth around $3 trillion dollars to the Australian economy.

Methods and Results

A detailed description of each of the six modelling steps outlined in the abstract is beyond the scope of this paper. The overall methodology is described in Barrett et al. (2013). There are also a series of submethodologies (http://www.bioregionalassessments.gov.au/methods/submethodologies) which provide the interested reader with sufficient information to be able to apply the bioregional assessment methodology to other areas.

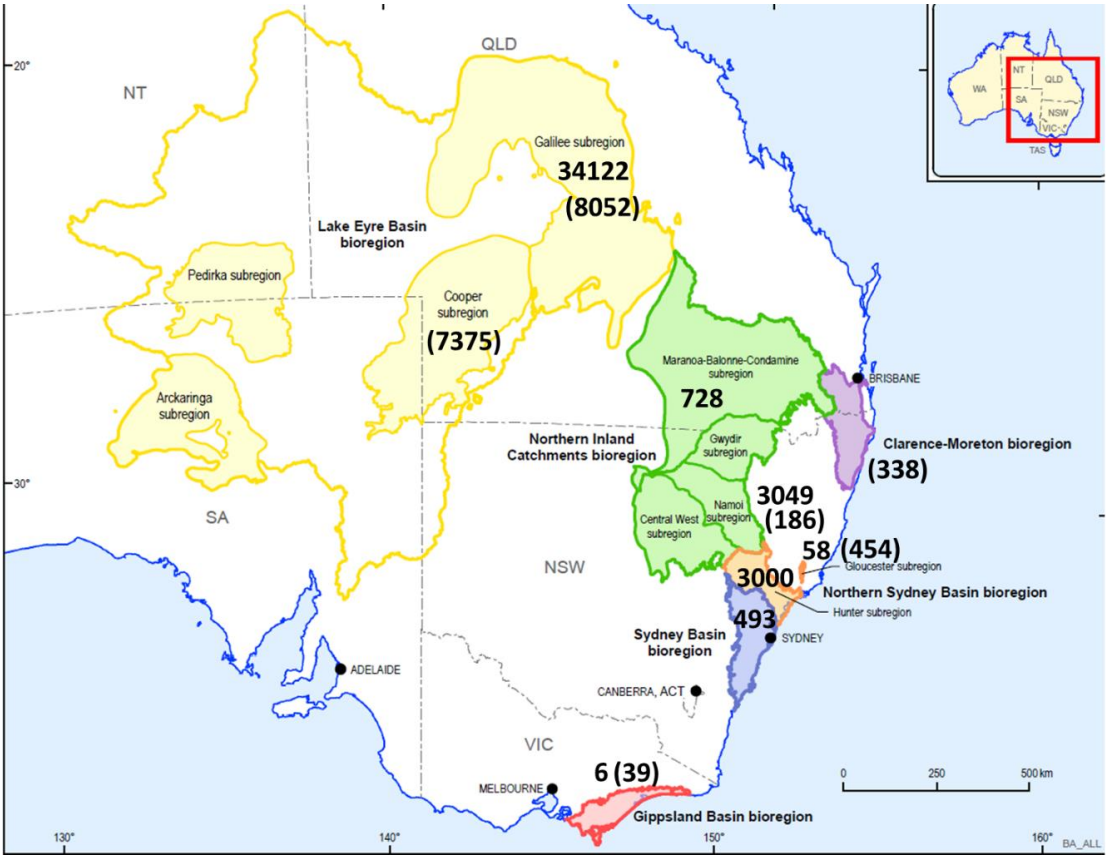


Figure 1. Map of the bioregional assessment study areas. Numbers represent the total tonnage of coal projected to be extracted for each region, while the numbers in brackets represent the equivalent PJ of coal seam gas.

The simplified flow chart in Figure 2 shows the steps required in order to progress a bioregional assessment from start to finish. It will be seen that quite a lot of work needs to be done before the first step mentioned in the abstract, i.e. 'construct a conceptual model' can begin. One needs a detailed understanding of the system, which requires an investigation of the potential coal resource developments, current users of water, and the water-dependent assets that are of interest in a particular region. Only once that is done can you develop a conceptual model of causal pathways. That is, determine how changes in water as a result of coal resource developments could propagate from the disturbance to potentially impact water-dependent assets. This conceptual model can take many forms, however a simplified block diagram provides a very useful communication tool for communicating these causal pathways to end users. An example block diagram for the Gloucester region of NSW, Australia is shown in Figure 3.

We have identified four primary causal pathways via which the impacts of coal resource development might propagate to water-dependent assets. These are shown in Figure 3 and are:

1. Coal seam depressurisation and dewatering;
2. Preferential flow paths into overlying/underlying aquifers, i.e. inter-aquifer connectivity via faulting, leaky aquitards or well integrity;
3. Management, storage and disposal of co-produced water;
4. Disruption of natural surface drainage.

Once a conceptual model is developed, one can then construct numerical groundwater and surface water models to quantify the likelihood of the propagation of impacts. These models must represent the causal pathways shown above. They should also represent surface water/groundwater interactions, either implicitly or explicitly. We chose to represent these explicitly, using the MODFLOW groundwater model (Crosbie et al., 2016) coupled to the

AWRA-L and AWRA-R surface water models (Viney et al., 2015)). This coupling occurs by subtracting the change in baseflow at each point in the landscape as determined by the MODFLOW model from the daily streamflow as predicted from the AWRA-L model.

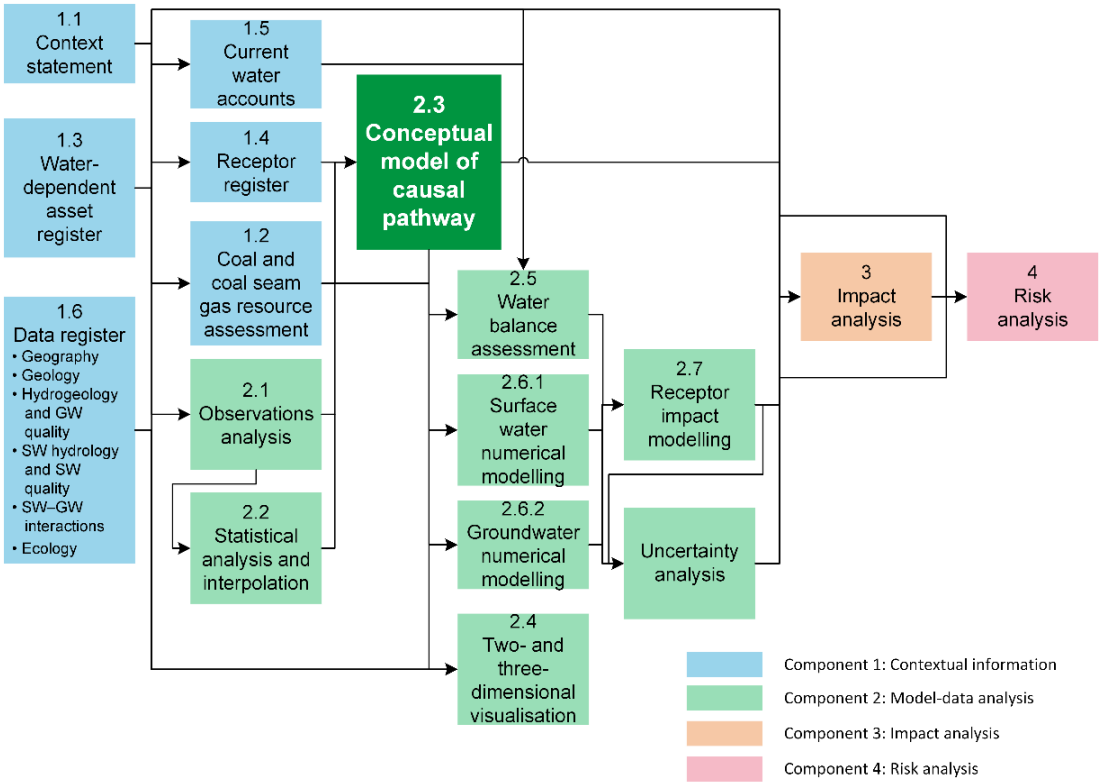


Figure 2. Steps in carrying out a bioregional assessment

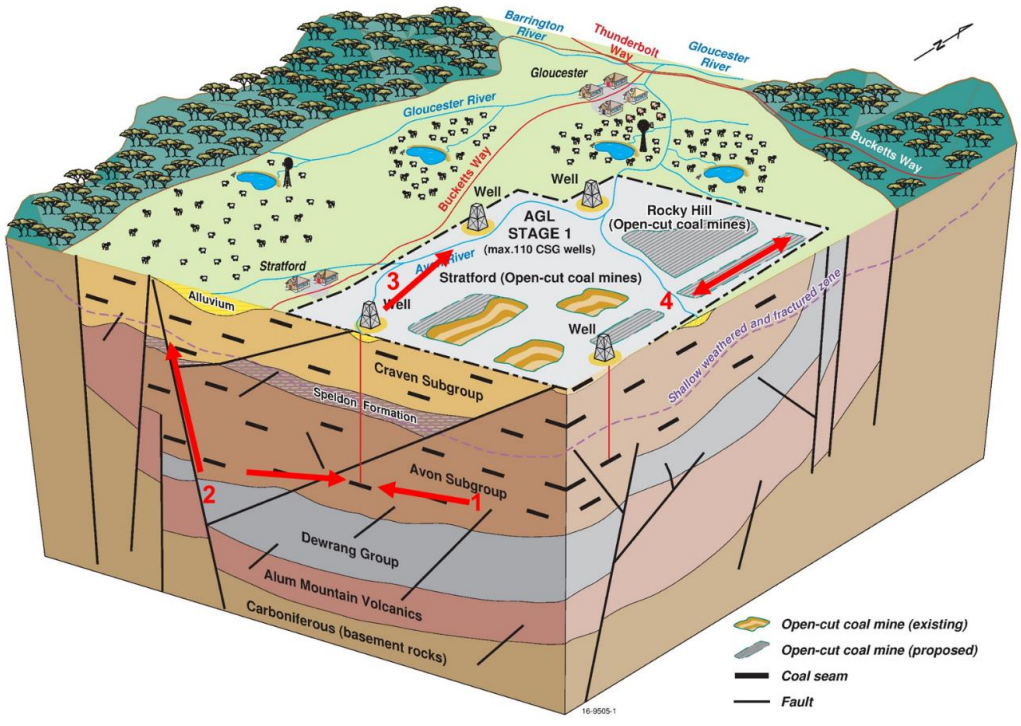


Figure 3. Block diagram demonstrating the conceptual model and causal pathways for the Gloucester region

The outputs of these hydrological models are then used as inputs to receptor impact models, whereby the changes in hydrology are converted into ecologically meaningful variables. This is typically done at a 'landscape class' level, where the landscape is classified into units that are expected to respond in a similar way to hydrological change. In the Gloucester region, we identified eight landscape classes that are potentially exposed to hydrological change due to coal resource development. A total of seven receptor impact models were developed for four of these landscape classes (see Table 1). While it would be desirable to develop receptor impact models for all potentially impacted landscape classes, ecological response functions that relate changes in hydrology to ecological changes are hard to derive. As a result, the development of new functions requires expert elicitation with local ecological experts over the course of a series of workshops and are therefore very time consuming.

Table 1. Receptor impact models developed for the Gloucester region

Landscape class	Receptor impact variable	Hydrologic response variables used as input
Ephemeral streams	n/a	n/a
Forested wetlands	Projected canopy cover	Overbench flow, overbank flow, groundwater drawdown
Freshwater wetlands	n/a	n/a
Intermittent streams	Riffle breeding frog Mean hyporheic taxa richness	Number of zero flow days, longest zero flow spell Number of zero flow days, longest zero flow spell
Intertidal wetlands	n/a	n/a
Perennial streams	Mean number of Hydropsychidae larvae per m^2 of riffle habitat Projected cover canopy Forested Wetlands Riffle breeding frog	Number of zero flow days, longest zero flow spell Overbench flow, overbank flow, groundwater drawdown Number of zero flow days, longest zero flow spell
Subtidal benthos	n/a	n/a
Wet and dry sclerophyll forests	Projected cover	Groundwater drawdown

Following the development of receptor impact models, an impact and risk analysis is carried out which identifies the potential hydrological impacts and associated risks for all water resources, landscape classes and water-dependent assets in the region. This impact and risk analysis not only summarises the potential impacts to water, but also provides an estimate of the associated risk through a probabilistic analysis. To determine the probability of impact, the groundwater and surface water models are run thousands of times using a range of parameter values that are all considered to be potentially possible. For example, a particular layer in a groundwater model might be run with a range of saturated hydraulic conductivities ranging from 10^{-2} to 10^{-5}, a range that might represent that layer operating as an aquitard or an aquifer. Where additional information is available to constrain the range of parameter values, that information can be incorporated and the range of parameter values reduced accordingly.

The range of potential hydrological impacts from these groundwater and surface water models are then displayed probabilistically. An example is shown in Figure 4, which shows a range of maximum drawdown values for one location in the groundwater model. As shown in the figure, this range of values can be represented by a box plot. For use in planning, we have found that the most relevant information to present from this boxplot are the 5^{th}, 50^{th} and 95^{th} percentiles of change. The 5^{th} can be regarded as *very likely* to occur (that is, 95% of model runs show at least this level of drawdown). The 95^{th} percentile can be regarded as *very unlikely* to occur. That is, only 5% of model runs exceed this level of drawdown. This information is of use to planners to determine the range of potential outcomes. Some caution needs to be applied to the

use of the 50th percentile. It is not the *most likely* result; rather it is the result that represents the outcome of the median of the chosen parameter range. If the true value was exactly the median, it would be the most likely, however, this situation is in general unlikely in most situations.

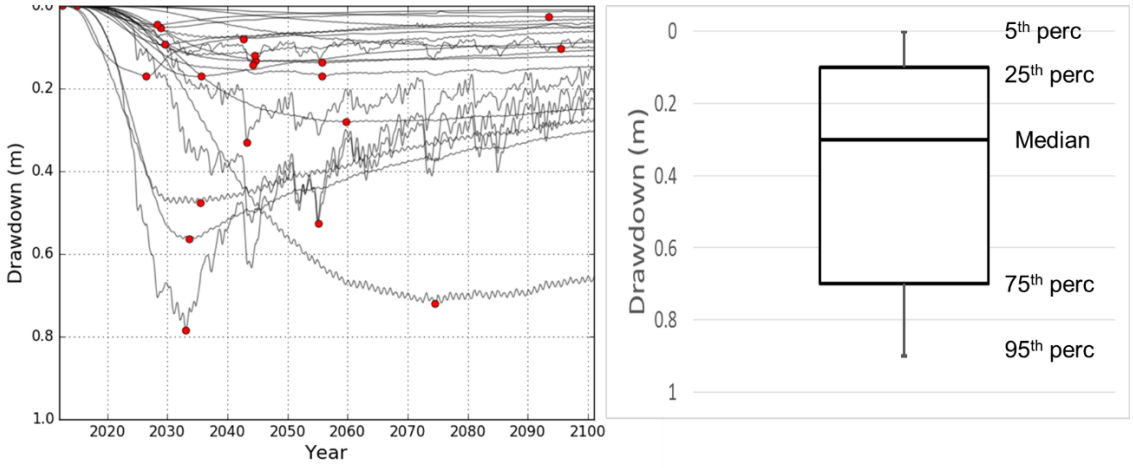


Figure 4. Representing uncertainty in the model predictions

Conclusions

A methodology has been presented for carrying out cumulative impact assessments. This methodology has the advantage of being relatively easy to apply, and allows the user to incorporate additional information where available. It is also adaptable, to allow for the incorporation of additional stressors such as climate change or other users of water as needed. It has been applied in the first instance to assess the impacts of coal resource development on water resources and water-dependent assets in eastern Australia. The results of this application can be found at www.bioregionalassessments.gov.au.

References

Barrett DJ, Couch CA, Metcalfe DJ, Lytton L, Adhikary DP and Schmidt RK (2013) Methodology for bioregional assessments of the impacts of coal seam gas and coal mining development on water resources. A report prepared for the Independent Expert Scientific Committee on Coal Seam Gas and Large Coal Mining Development through the Department of the Environment and Energy.

Crosbie R, Peeters L and Carey H (2016) Groundwater modelling. Submethodology M07 from the Bioregional Assessment Technical Programme. Department of the Environment and Energy, Bureau of Meteorology, CSIRO and Geoscience Australia, Australia. http://data.bioregionalassessments.gov.au/submethodology/M07.

Viney N, Vaze J, Crosbie R, Wang B, Dawes W and Frost A (2015) AWRA-L v4.5: technical description of model algorithm and inputs. CSIRO, Australia, 75pp.

Секция 6
За гранью катастроф

Session 6
Hydrological hazards

Подходы к визуализации зон затопления средствами WEB-ГИС по результатам гидрологического моделирования

Балдаков Н.А.*, *Ловцкая О.В.
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул
nikita-baldakov@yandex.ru

Аннотация: Визуальное отображение с помощью Web-браузера результатов моделирования изменения уровня воды в водных объектах позволяет эффективно представлять зоны затопления пойменных территорий. В статье описаны средства отображения результатов гидрологического моделирования в составе проблемно-ориентированной ГИС. Рассмотрены способы визуализации результатов расчетов одномерных и двухмерных гидродинамических моделей.

В одномерном случае для отображения используются значения уровня водной поверхности, расположенные вдоль осевой линии русла. Для построения зоны затопления пойменных территорий по результатам одномерного моделирования с учетом ЦМР долины реки разработаны два алгоритма.

В двухмерном случае для отображения используется поле глубин затопления, представленное в виде набора географически привязанных точек со значением глубины в каждой точке.

Ключевые слова: ГИС, гидрологические модели, цифровая модель рельефа, визуализация, зона затопления

Введение

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) – неотъемлемая составляющая информационно-моделирующих систем, предназначенных для прогнозирования паводков и половодий на реках. ГИС являются связующим звеном между основными компонентами таких систем (WMO Manual on Flood Forecasting…, 2011). Весьма важна роль ГИС на этапе интерпретации результатов мониторинга и прогнозирования развития гидрологической обстановки для определения возможных социально-экономических последствий от прохождения опасных гидрологический явлений (С.В. Борщ и др., 2013).

Моделирование зон затопления

Создание компьютерных моделей течений в водотоках сложной конфигурации часто требует больших объемов разнородной пространственно-распределенной эмпирической информации. Это, прежде всего, цифровая модель рельефа (ЦМР) русла и речной долины, сведения о коэффициентах шероховатости подстилающей поверхности. Также привлекается изменяющаяся в пространстве и времени гидрологическая и метеорологическая информация (Зиновьев А.Т. и др., 2014).

Точность расчетов областей затоплений речных долин в большой степени зависит от используемого вида решения системы уравнений Сен-Венана, отражающей основные закономерности перемещения речных волн. В последние годы, с появлением доступных данных о рельефе высокого разрешения и увеличившимися вычислительными мощностями широкое распространение получило применение не только одномерных, но и двумерных и трехмерных гидравлических моделей (Maidment, D, 2000).

Для описания течений на участках рек, в т. ч. и со сложной морфометрией русла и поймы, в Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской Академии наук (ИВЭП СО РАН) разработаны вычислительные комплексы на основе

одномерных и двумерных уравнений Сен-Венана, и построены компьютерные модели для расчета сценариев затопления отдельных участков пойменных территорий и прогноза прохождения весенних половодий и дождевых паводков на Верхней Оби (Зиновьев А.Т. и др., 2017).

Расчет гидравлических характеристик р. Оби на участке от г/п Фоминское до створа плотины Новосибирской ГЭС опирается на численную одномерную горизонтальную (1DH) модель течения на основе уравнений Сен-Венана. Для построения компьютерной гидродинамической 1DH-модели течения на этом участке используются цифровые модели речной долины р. Оби и ложа Новосибирского водохранилища, построенные на основе топографических карт М 1:25000 и лоции Верхней Оби.

Для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) для гидродинамической 2DH-модели использовались:

– данные промеров русла, проток и затонов М1:2000;

– данные топосъемочных и геодезических работ;

– данные топографической съемки, полученные в ходе проектно-изыскательских работ М 1:500;

– топографические карты М1:25000.

Визуализация зон затопления

Для определения затапливаемой площади необходимо знать абсолютную отметку водной поверхности в каждой точке водотока. Разность этой отметки и отметки рельефа, взятой по ЦМР, используется для определения зоны распространения разлива при прохождении паводка.

Результаты расчетов двумерных гидродинамических моделей дают области затопления непосредственно в виде набора географически привязанных точек со значением глубины в каждой точке. Данные такого вида для загрузки в ГИС требуют предобработки, состоящей из следующих действий:

- определение границ рассматриваемой области затопления. В качестве границ используется минимальный невыпуклый полигон (concave hull), содержащий точки с глубинами;
- создание растра глубин в формате GeoTiff билинейной интерполяцией глубины в рамках найденных границ.

Однако, при использовании подобных моделей необходимы сравнительно высокие вычислительные мощности и ЦМР высокого разрешения, включающая в себя русло реки. Поэтому в случае недостаточно подробных входных данных или рассмотрения участка реки значительной протяженности, как правило, применяются одномерные гидродинамические модели.

В одномерном случае результаты моделирования составляют значения уровня водной поверхности, расположенные вдоль осевой линии русла. Для построения зон затопления пойменных территорий по результатам одномерного моделирования с учетом ЦМР долины реки используются подходы, основанные на геометрических принципах (Chen J., и др., 2009).

Основная идея, на основе которой, как правило, реализуется моделирование паводкоопасной ситуации, заключается в построении пересечения поверхности рельефа с зеркалом водной поверхности. Для выявления затопленной территории используются исходная цифровая модель рельефа и модель секущей плоскости водной поверхности при подъеме уровня воды. Секущая плоскость должна также учитывать уклон реки, т.е. иметь постоянное понижение вдоль ее русла.

Для определения зоны затопления при расчетах по одномерной модели разработано два алгоритма.

Первый алгоритм распространяет значения высоты водной поверхности вдоль нормалей, проведенных к осевой линии русла в точках с известными из результатов

моделирования уровнями водной поверхности. На основе расчетных данных и нормалей с помощью стандартных средств QGIS строится цифровая модель водной поверхности:

1. Зона затопления вычисляется с помощью Растрового калькулятора: («цифровая модель водной поверхности» – «цифровая модель поймы») > 0.
2. Полученный растр конвертируется в векторный полигональный слой, соответствующий зоне затопления.
3. Для улучшения качества визуализации выполняются преобразования полученных полигонов (удаление «осколочных» полигонов, преобразование «дырок», объединение смежных полигонов).

Результат работы алгоритма представлен областью, ограниченной зеленой линией на рисунке.

Второй алгоритм имитирует подъем воды по склону из каждой ячейки растра водной поверхности и сравнивает текущее значение высоты по ЦМР с абсолютной отметкой водной поверхности, взятой в ячейке растра, из которой начат подъем. Высота водной поверхности для каждого пикселя вычисляется как среднее арифметическое высот водной поверхности соседних с ним затопленных пикселей. На первом шаге, затопленными принимаются пиксели, полученные от растеризации осевой линии русла. Алгоритм рекурсивно пополняет множество затопленных пикселей соседними с ними незатопленными, пока множество добавленных на текущем шаге пикселей не станет пустым.

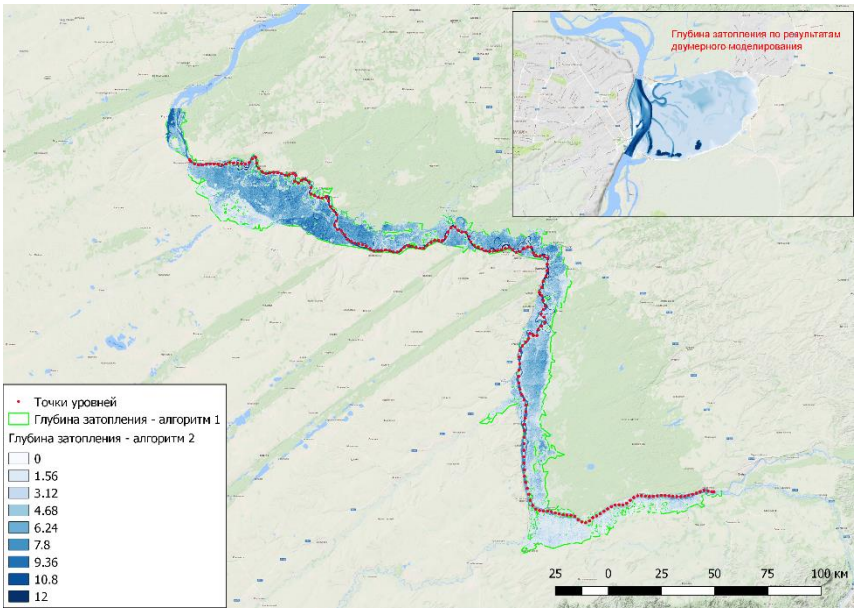


Рисунок – Пример визуализации зон затопления

Алгоритма построения реализован в виде следующей последовательности шагов:

1. Создать пустой растр, совпадающий с ЦМР размером, типом пикселя (float, integer) и географической привязкой;
2. Линейно интерполировать значения уровня в узлах осевой линии, используя точки с известным значением уровня из входных данных;
3. Растеризовать осевую линию на созданном растре (шаг 1), сохраняя значения уровня на пикселях растра, и, при необходимости, интерполируя их для пикселей, расположенных между вершинами осевой линии (используется функция библиотеки GDAL2.*);

4. Определить три множества пикселей созданного растра: Внутренние, Граничные, Кандидаты. На этом шаге Внутренние и Кандидаты – пустые множества, Граничные — множество пикселей растеризованной осевой линии;
5. Применить рекурсивную процедуру затопления.

Алгоритм реализован в виде утилиты командной строки на языке C++, для работы с растровыми и векторными данными с географической привязкой используется библиотека с открытым исходным кодом GDAL2.*. Результат алгоритма представлен на рисунке областью синего цвета с указанием глубин затопления. Рисунок иллюстрирует результаты работы описанных в статье алгоритмов.

Выводы

Разработанные ГИС-технологии используются ИВЭП СО РАН для визуализации фактической и прогностической гидрологической обстановки на р. Обь в районе г. Барнаула (http://geoinfo.iwep.ru/geoserver/www/floodzones-test/index.html).

Список литературы

Борщ С. В., Самсонов Т. Е., Симонов Ю.А., Львовская Е. А. Визуализация гидрологической обстановки в бассейнах крупных рек средствами ГИС-технологий // *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*. 2013. № 349. С. 47–62.

Зиновьев А.Т., Ловцкая О.В., Балдаков Н.А., Дьяченко А.В. Геоинформационное обеспечение для решения гидрологических задач // Вычислительные технологии. 2014. № 3. С. 60-72.

Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Марусин К.В., Кошелева Е.Д. Математическое моделирование руслового потока для прогнозов влияния строительства в поймах на гидрологический режим крупных рек (на примере реки Обь) // *Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление*. 2017. № 2. С. 54-72.

Maidment D.R., Djokic D. Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. N.Y.: ESRI Press, 2000. 232 p.

Chen J., Hill A.A., Urbano L.D. A GIS-based model for urban flood inundation // *J. Hydrology*. – 2009. Vol. 373. No 1-2. P. 184–192.

WMO Manual on Flood Forecasting and Warning. // *World Meteorological Organization,* 2011. WMO-No.1072.

Methods for flood zones visualization in Web-GIS from results of hydrological modelling

Baldakov N.A., Lovtskaya O.V.
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul
nikita-baldakov@yandex.ru

Abstract: Visual display of results of modelling stages of water bodies using web browser provides the effective way to present flood zones on floodplains. This paper describes methods for presenting results of hydrological modelling in problem-oriented Web-GIS. Methods for visualization of results of one-dimensional and two-dimensional hydrodynamic modelling were considered.

The water surface profile along the river axis was used as an input data in one-dimensional case. Two algorithms to derive flooded areas from results of one-dimensional modelling and DEM of floodplain were developed.

The field of food depths in the form of a set of spatially bound points was used in two-dimensional case.

Keywords: GIS, hydrological models, digital elevation model, visualization, flood zone.

Определение максимальных расходов воды дождевых паводков малых рек на антропогенно изменённых территориях на примере Новой Москвы

Бекасов М.А.*, *Айбулатов Д.Н.
Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Москва
maxbekas@yandex.ru

Аннотация: Рост городов и прогрессирующая урбанизация в последние века претендует на роль одних из ведущих факторов в изменении показателей стока рек. Одной из насущных научных проблем является перестройка гидрографической сети и интенсивное использование природных вод в хозяйственно-бытовых, промышленных и рекреационных целях в процессе расширения городов. Эффекты от резко возрастающего антропогенного воздействия на природные водные объекты изучены не до конца. Объектом данного исследования выступает территория Новой Москвы – крупнейший в России пример территории, трансформирующейся из малоосвоенной в урбанизированную. Предметом исследования являются изменения в показателях максимального стока рек. Актуальность данной работы заключается в малой изученности изменений стока, связанных с влиянием урбанизации, а также активным развитием исследуемого региона. Целью работы является оценка максимального стока воды рек Новой Москвы за последние 60 лет и выявление роли антропогенного фактора в этом процессе. К основным задачам исследования относится исследование изменений в ландшафтной структуре территории, анализ изменения характеристик стока рек Новой Москвы, а также климатических характеристик.

Ключевые слова: урбанизация, малые реки, расходы, паводки, сток

Введение

Изучаемая территория целиком относится к бассейну внутреннего стока Каспийского моря. Все водотоки Новой Москвы являются притоками Оки разного порядка Ока же в свою очередь впадает в Волгу. Всего в пределах Новой Москвы насчитывается около 15 рек и ручьёв протяжённостью свыше 10 км. Общая длина водотоков составляет около 635 км. Преобладающий тип рек ТиНАО - малые реки. Площадь водосборов местных рек не превышает 2000 км^2. Единственной рекой, которую относят к средним рекам является Пахра с площадью водосбора 2580 км^2. Кроме этого, крупнейшими реками данной территории являются Десна. Лопасня. Моча. Густота речной сети участка составляет 0,44 км/км^2.

Территория Новой Москвы в настоящее время активно подвергается комплексной застройке и освоению. Наступающий процесс урбанизации подразумевает собой кардинальную перестройку ландшафтной структуры территории и её гидрографической сети. Водный режим рек в этих условиях может изменяться в связи с заменой естественной подстилающей поверхности на асфальтовое покрытие, появлением новых антропогенных ландшафтов, перестраивающих структуру поверхностного стока, а также непосредственно из-за преобразования самих водных объектов человеком. Ведущая роль среди факторов изменения стока в пределах городских территорий принадлежит увеличению малопроницаемых поверхностей в пределах водосборов рек. Помимо этого, гидрографическая сеть изменяется с появлением канализационных и дренажных систем. Благодаря им, время склонового и руслового добегания значительно сокращается.

Материалы и методы

По состоянию на 2016 год на территории Новой Москвы не расположено ни одного гидрологического поста. Основными источниками о состоянии гидрометрических

характеристик водотоков региона являются 11 постов аналогов, расположенных в не более чем в 150 километрах от изучаемой территории, а также 1 пост на р. Пахра, наблюдения на котором прекратились в 2007 году. В среднем, в Московской области 1 гидрологический пост приходится на 3000 км^2. Площадь водосборов постов варьируется от 17 до 3640 км^2. Это позволяет оценить порядок гидрометрических величин на малых водотоках региона, имеющих площадь 2000 км^2, а также на средних реках (>2000 км^2). На каждом гидрологическом посту имеется ряд данных от 24 до 59 лет.

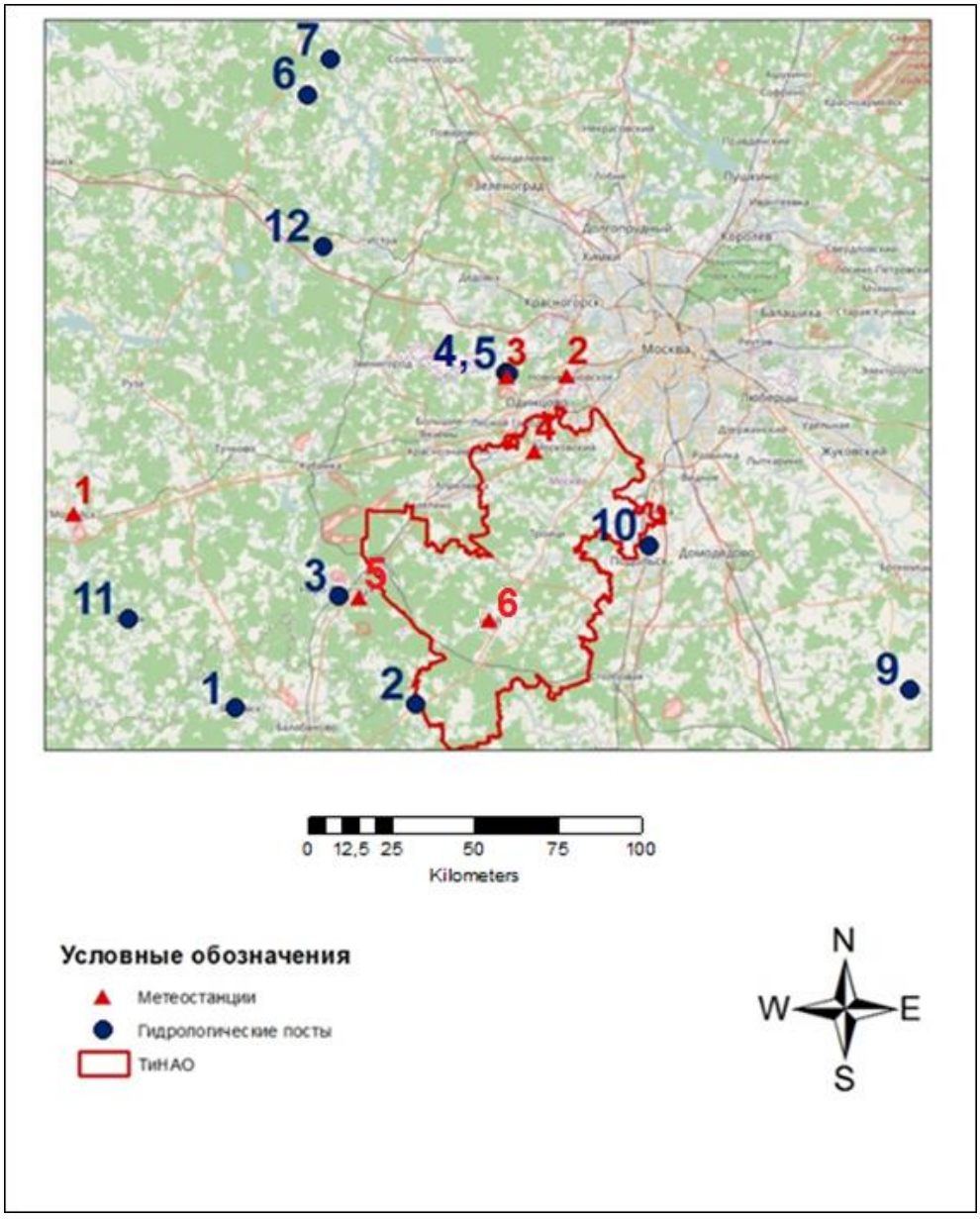


Рис. 1 Схема гидрологических постов и метеорологических станций (Гидропосты: 1 - р.Протва (Спас-Загорье), 2 - р.Нара(Папино), 3 – р.Нара (Наро-Фоминск), 4 – р.Медвенка(Большое Сареево), 5 - р.Закза(Большое Сареево), 6 – р.Нудоль (Кузнецово), 7 – р.Катыш (Троицкое), 8 – р.Нерская(Куровское), 9 –р. Северка (Покровское), 10 – р.Пахра (Стрелковская фабрика), 11 – р.Протва(Верея), 12 – р.Малая Истра (Киселёво).

Учёт влияния урбанизированной территории на максимальные расходы дождевых паводков заданной обеспеченности P при наличии наблюдений определяется по формуле [1]:

$$Q_{(макс.\ д.(P)} = (K_Q q_P F n F_y n)\ F_y, \quad (1)$$

где $K_Q = q_y/q_a$ – параметр, характеризующий отношение модуля максимального расхода воды с урбанизированной территории к модулю стока реки-аналога(q_a); q_p – модуль стока обеспеченностью *P; F* и F_y –площадь водосбора реки-аналога и урбанизированной территории; n – коэффициент редукции модуля максимального расхода воды с увеличением площади водосбора.

Когда данных наблюдений нет учёт влияния урбанизированных территорий на максимальные расходы дождевых паводков на водосборах площадью от 50 до 200 км^2 определяется по формуле предельной интенсивности стока[2]:

$$Q_p = q_{1\%}\alpha H_{1\%}\lambda_P F_{y,} \quad (2)$$

где q_p – максимальный модуль стока обеспеченностью P = 1%, выраженный в долях произведения $\alpha H_{1\%,}$ определяемый в зависимости от гидромофрометрической характеристики русла Фр и продолжительности склонового добегания $\tau_{ск}$; α – сборный коэффициент стока, $H_{1\%,}$ - максимальный суточный слой осадков обеспеченностью P = 1% ; λ_P - коэффициент перехода от максимальных мгновенных расходов воды обеспеченностью P = 1% к максимальным расходам воды другой обеспеченности.; F_y – площадь урбанизированного водосбора.

Гидроморфометрическую характеристику русла исследуемой реки Φ_p определяют по формуле [1]:

$$Фр=1000L[m_p I_p m A 0{,}25(\varphi H_{1\%})0{,}25] \quad (3)$$

где m_p– гидравлический параметр, характеризующий состояние и шероховатость русла водотока; I_p – средневзвешенный уклон водотока, ‰; А – площадь исследуемого водосбора, км^2.

Сборный коэффициент стока φ для равнинных рек определяют по формуле [2]:

$$\varphi = c_2(A+1)n3\varphi_0(I_{ск}50)m_2 \quad (4)$$

где c_2 - эмпирический коэффициент, который для тундры и лесной зоны принимают равным 1,2, для остальных природных зон - 1,3; φ_0 - сборный коэффициент стока для условного водосбора с площадью А, равной 10км^2, и средним уклоном $I_{ск}$ равным 50 ‰; в первом приближении определяют по редукционным кривым осадков.

Результаты

В таблице 1 приведены этапы и результаты расчёта максимальных нарушенных расходов дождевых паводков. При расчёте использовалось допущение, что в формуле (4) значение сборного коэффициента стока φ_0=0,9, а коэффициента m_2 = 0.2 ввиду предполагаемой заасфальтированности подстилающей поверхности.

Расходы дождевых паводков при естественном и нарушенном режиме стока рек Новой Москвы также сведены в таблицу 1. Из таблицы видно, что максимальный сток дождевых паводков малых рек существенно возрос. Интервал увеличения расхода дождевых паводков колеблется от 1,1 раза на реках с наименьшим водосбором до 4,7 раза на более крупных реках в категории до 200 км^2.

Выводы

Таким образом, территория Новой Москвы испытывает значительную ландшафтную и гидрологическую трансформацию вследствие антропогенного вмешательства. В условиях отсутствия гидрологических данных судить об изменениях максимальных расходов малых рек этого региона затруднительно. Используя данные постов-аналогов и формулы расчёта максимальных расходов дождевых паводков применяемых при недостатке данных, установлено, что экстремальные значения расходов в антропогенно измененных ландшафтах будут превышать естественные для этих рек показатели от 1,1 до 4,7 раза.

Табл. 1 Расчёт максимальных расходов воды дождевых паводков в условиях нарушенного (фактического) стока при φ_0=0.9 и n=0.2.

Река	F,км^2	L,км	Уклон вдсб, ‰	Уклон реки,%	α	Ф	q1%	Q, м3/с	Q пав. Естеств, м^3/с	Qmax пав нарушен, м^3/с
Незнайка	207	32	59.7	1,50	0.77	218.4	0.012	220.0	81.6	220.0
Ликовка	63.4	21	73.8	1,50	0.87	186.8	0.014	89.0	60.9	89.0
Сосенка	107	20	55.5	1,50	0.79	159.7	0.017	166.2	35.3	166.2
Черничка	139	18	20.0	1,50	0.64	142.3	0.015	152.5	53.2	152.5
Сохна	90	14	40.2	1,50	0.75	118.3	0.023	179.5	164	179.5
Сетунь	182	14	55.6	1,50	0.77	98.8	0.026	416.9	127	416.9
Городня	104	14	92.1	1,50	0.88	109.7	0.026	274.0	80.4	274.0

Список литературы

Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Государственный ордена Трудового Красного Знамени, Гидрологический институт. Методические рекомендации по учёту влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчётах для водохозяйственного проектирования. Л.: Гидрометиздат, 1986. – 168 с.

Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Государственный ордена Трудового Красного Знамени, Гидрологический институт. Пособие по определению расчётных гидрологических характерстик. Л.:Гидрометиздат, 1984. - 447 с.

Determining of the maximum rainfall discharges in the small rivers on the anthropogenic changed territories for New Moscow region

Bekasov M.A.*, *Aibulatov D.N.
Moscow State University, Moscow
maxbekas@yandex.ru

Abstract: The growth of cities and the progressive urbanization in recent centuries pretend to be one of the leading factors in the changes of the rivers flow Restructuring of the hydrographic network and the intensive use of natural waters for domestic, industrial and recreational purposes seem to be urgent scientific problems in the process of expanding cities. Effects from the dramatically increasing anthropogenic impact on natural water bodies are not fully understood. The object of this study is the territory of New Moscow - the largest example of an urbanizing territory in Russia. The subject of the study are the changes.. The aims of the work are estimating of the maximum rainfall discharges in the rivers of New Moscow in the last 60 years and identifying the role of the anthropogenic factor in this process The main objectives of the research include the study of changes in the landscape structure of the territory, analysis of changes in the characteristics of the flow in the rivers of New Moscow.

Keywords: urbanization, small rivers, costs, floods, runoff, rainfall discharge

Анализ половозрастной структуры погибших от наводнений в России за 2000-2014 гг.

***Белякова П.А.*[1,2], *Морейдо В.М.*[2], *Пьянкова А.И.*[3]**
[1]*Гидрометцентр России, Москва*
[2]*Институт водных проблем РАН, Москва*
[3]*Высшая школа экономики, Москва*
pobel@mail.ru

Аннотация: В статье обсуждается современное состояние сведений о погибших в ходе наводнений различного генезиса в России по данным Росстата за период 2000—2014 гг. Приводятся результаты анализа половозрастной структуры и данных о месте гибели людей в ходе таких событий. В среднем наводнения в год уносили жизни 28 человек, при этом более 80% погибших связано с тремя наиболее выдающимися событиями (в 2002 и 2012 годах). Около половины погибших за все годы составляют люди старше 60 лет. В целом, более 55% жертв были обнаружены в своих домах или квартирах. В ходе катастрофического наводнения в Крымске 6—7 июля 2012 года, унесшего максимальное за весь рассматриваемый период количество жизней, наибольшая доля погибших так же приходится на пожилых женщин (52%), при этом в своих жилищах погибло значительно большее количество людей – 94%. В результате этого исследования делается вывод о необходимости выработки более адресной стратегии работы с населением паводкоопасных районов, учитывающей половозрастную структуру, с целью снижения количества жертв от наводнений.

Ключевые слова: Наводнения, опасные гидрологические явления, смертность от наводнений, жертвы наводнений, утопление

Введение

В России ежегодно гибнут люди от экстремальных проявлений природных процессов, в том числе от опасных гидрологических явлений – наводнений. Смертность от наводнений, безусловно, не является превалирующей среди прочих причин смертности в нашей стране. Тем не менее, каждый случай смерти от наводнений является однозначно избыточным и преждевременным.

Природные факторы формирования наводнений в России и их районирование рассматриваются во многих работах, в том числе (Доброумов и Тумановская, 2002; Экстремальные…, 2010). Ряд работ посвящен классификации наводнений по социально-экономическому ущербу (Доброумов и Тумановская, 2002; Авакян и Истомина, 2003). И только в небольшом количестве работ поднимаются вопросы социально-экономической уязвимости населения к гидрологическим катастрофам (Земцов и др., 2012; Бабурин и др., 2015).

Социальные аспекты наводнений (общее число пострадавших, погибших и эвакуированных за периоды 1998-2002 и 1998-2008 гг.) среди прочих характеристик анализируются в работах С.Г. Добровольского и М.Н. Истоминой (2009, 2017), где сделан вывод, что отношение смертельных случаев к материальному ущербу от наводнения в России значительно выше, чем в развитых странах.

В странах ЕС и в США смертность от наводнений анализируется с учетом генезиса наводнений (включая тип быстроразвивающихся наводнений), времени прохождения события, половозрастной структуры погибших, места обнаружения, деятельности, повлекшей к гибели (например, перемещение в автомобиле), непосредственной причины гибели (например, утопление или поражение электрическим током) (Jonkman and Kelman, 2005; Ashley and Ashley, 2008; Diakakis and Deligiannakis, 2013; Vinet et al., 2016).

Данная работа служит для предварительной оценки пола, возраста и обстоятельств гибели жертв наводнений в России за 2000-2014 гг. Изучение половозрастного состава жертв наводнений и причин их смерти представляется актуальной задачей для выявления наиболее уязвимых групп населения и разработки адресных систем оповещения о наводнениях.

Материалы и методы

В основу исследования были положены официальные статистические данные о числе умерших за период 2000-2014 гг., предоставленные Федеральной службой государственной статистики (Росстатом). Данные содержат информацию о числе умерших в разбивке по полу, возрасту, году наступления события и причине смерти. Причины смерти закодированы в виде буквенно-цифровых кодов МКБ-10 (Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем десятого пересмотра). Случаи смерти от наводнений представлены рубрикой «X38» – «жертва наводнения». Для обозначения места наступления несчастного случая используется четвертый знак, отделяемый точкой: например, код «X38.4» означает, что несчастный случай произошел на улице или автомагистрали (Международная…, 1995). Поскольку кодирование причины смерти осуществляется в больницах/моргах, исходные данные содержат неопределенность, связанную с ошибками кодирования.

Для сопоставления статистики жертв наводнений с конкретными гидрологическими событиями использовались научная литература, отчеты МЧС, база данных Дармутской обсерватории наводнений (США) (Brakenridge, 2017), база данных о природных катастрофах Лувенского католического университета (Бельгия) (Guha-Sapir, 2018), а также данные СМИ. Сведения об общем числе погибших из баз данных о наводнениях прошли проверку и в ряде случаев корректировку.

Наиболее крупное расхождение между демографическими данными Росстата и числом погибших, зафиксированным в базах данных о наводнениях, отмечено для 2002 г. Так, общее число жертв наводнений по данным Росстата составило 117 человек, а по специализированным базам данных о наводнениях – 177 человек. Причиной подобного несоответствия могло быть кодирование в других рубриках (жертвы селевых потоков, разрушения домов и т.д.).

Сведения о демографической структуре жертв наводнений были соотнесены с наводнениями в систематической базе данных, включающей информацию о локализации наводнений (субъект, район, координаты центра события), датах прохождения наводнений, типе наводнения. Менее однозначные характеристики – общее число погибших, число эвакуированных, величина ущерба приводятся в базе данных по разным источникам в разных ячейках. Эти сведения несут в себе неопределённость в силу различных организационных и методологических подходов к их определению (Добровольский и Истомина, 2009), поэтому в дальнейшем в ряде случаев приводятся интервалы значений. В дальнейшем информация о погибших будет уточняться.

Результаты и обсуждение

За период с 2000 по 2014 г. в России от наводнений погибли, по разным оценкам, от 418 до 421 человек. В среднем число погибших составляет 28 чел./год. Для сравнения: в других странах Европы с наибольшим числом погибших от наводнений за аналогичный период погибло 224 человека в Италии, 166 в Румынии, 161 во Франции (Paprotny et al., 2017). В США от наводнений в среднем фиксируется 98 смертельных случаев в год (за период 1959-2005 гг. без учета жертв урагана Катрина).

Характер распределения числа погибших в России по годам и случаям наводнений крайне неравномерный. Около 84% смертельных случаев пришлось на 3 наводнения 2002 и 2012 годов. В 2002 г. произошли 2 масштабных события, повлекшие гибель большого

количества людей. В июне-июле в результате длительных ливневых дождей прошли наводнения в бассейнах рек Кубань, Кума и Терек – по данным МЧС погибли 114 человек (Воробьев, 2003), а в августе на Черноморском побережье Кавказа в окрестностях Новороссийска сформировались катастрофические быстроразвивающиеся паводки, ставшие причиной гибели 59 человек. В 2012 г. абсолютное большинство смертельных случаев было связано с быстроразвивающимися паводками 6-7 июля на реке Адагум в г. Крымск и на реках Черноморского побережья Кавказа в окрестностях Новороссийска и Геленджика, тогда погибли 171 человек. Именно эти наводнения более всего определяют статистические характеристики половозрастной структуры жертв от наводнений, поэтому в настоящем исследовании мы часто будем возвращаться к анализу именно этих событий.

Пол и возраст погибших от наводнений анализировался по данным Росстата, где в рубрику «жертвы наводнений» были отнесены сведения о 359 погибших. Статистические оценки половозрастных характеристик и места гибели были выполнены с допущением о схожих половозрастных категориях погибших от наводнений, включенных в рубрику «жертвы наводнений» и не включенных в эту рубрику.

Среди погибших от наводнений 50% составляют пожилые люди (старше 60 лет), 44% – люди в возрасте от 15 до 60 лет, 5% – дети и подростки (от 0 до 14 лет), для оставшегося 1% жертв возраст установить не удалось. Приведенная пропорция показывает, что пожилые люди более уязвимы к наводнениям – доля пожилых людей в числе жертв наводнений существенно превышает их долю в демографической структуре населения. В структуре населения России доля лиц старше 60 лет составляет лишь 18%, в структуре Краснодарского края, где произошли наиболее разрушительные наводнения – 19%. Соотнести половозрастную структуру погибших со структурой населения зон затопления пока не представляется возможным. Схожая ситуация по преобладанию смертности от наводнений среди пожилых отмечается в работах (Jonkman and Kelman, 2005; Vinet et al., 2016).

Среди пожилых жертв почти втрое больше женщин, чем мужчин, а в группе среднего возраста наоборот вдвое больше мужчин. В целом среди жертв наводнений незначительно преобладают женщины (56%). Согласно исследованиям (Jonkman and Kelman, 2005; Diakakis and Deligiannakis, 2013; Vinet et al., 2016) жертвами наводнений напротив чаще становились мужчины, что объясняют их большей активностью во время наводнений. Большая доля погибших от наводнений женщин в России отчасти связана с превалированием женщин в возрастной категории старше 60 лет: в целом по стране число женщин старше 60 лет в 1,9 раза превосходит число мужчин того же возраста, в Краснодарском крае – в 1,8 раза.

Наибольшие диспропорции в половозрастной структуре жертв отмечались в результате катастрофического наводнения 6-7 июля 2012 г. в г. Крымск и окрестностях. Наводнение привело к гибели преимущественно женщин старше 60 лет (52% погибших), доля пожилых мужчин при этом составила 17% от общего числа погибших. Поскольку наводнение происходило в ночные часы, пожилым людям было особенно сложно выбраться из затапливаемых домов. Доля мужчин в возрасте от 15 до 60 лет составила 15% от всех погибших, женщин той же возрастной группы – 12%, доля детей – около 5%.

Анализ данных Росстата о месте гибели жертв наводнений за весь период показал, что большинство людей (56%) погибли в домах или квартирах, 28% людей – вне жилых помещений: на пляжах, у рек и т.д. У 8% жертв наводнений место гибели не уточнено, 6% людей погибли на дорогах, возможно, при передвижении на автомобилях. В случае крымского наводнения 2012 г. 94% жертв наводнений скончались в домах или квартирах, что, безусловно, связано с ночным временем наводнения. При наводнениях 2002 г., напротив, 63% погибших были обнаружены на пляжах и у рек (об августовском наводнении на черноморском побережье 2002 г. известно, что были смыты палаточные лагеря, погибло много туристов), 18% погибших погибли в домах.

В странах ЕС и тем более в США значительная доля смертей от наводнений (30-40%) связана с использованием транспортных средств, преимущественно автомобилей (Jonkman and Kelman, 2005; Diakakis and Deligiannakis, 2013; Vinet et al., 2016). Использование автомобилей, особенно с повышенной проходимостью, создает у людей ложное чувство безопасности при пересечении водных потоков.

Выводы и обсуждение перспектив

В России 84% погибших от наводнений за период с 2000 по 2014 г. связано с тремя крупными событиями 2002 и 2012 гг.– наводнениями на Северном Кавказе и черноморском побережье. Согласно исследованиям (Бабурин и др., 2015), население районов, в которых высок риск развития катастрофических паводков, слабо подготовлено к наступлению и последствиям таких явлений. Причиной этого можно назвать дисбаланс в системе защиты населения и хозяйства от наводнений, принятой в нашей стране, которая ориентирована, в основном, на инженерные методы защиты. Наряду с повышением безопасности самих инженерных сооружений и другими разумными мерами необходимо развивать систему гидрометеорологических прогнозов и систему оповещения о наводнениях.

Из проведенного анализа следует, что наиболее уязвимой категорией населения в отношении наводнений являются пожилые люди, а в силу специфики демографической структуры населения – преимущественно женщины.

Более половины случаев смерти от наводнений наступило в жилых помещениях, около трети – за пределами городской черты (на пляжах и т.д.). Необходимо вести информационную работу как с местным населением районов повышенного риска, так и предупреждать туристов о возможной угрозе наводнений через различные информационные материалы (аншлаги вблизи рек, плакаты и т.д.).

Данное исследование является первым шагом в изучении смертности от наводнений в России, необходимым для улучшения понимания причин гибели людей. Результаты исследования могли бы служить основой для совершенствования методов оповещения о наводнениях, эвакуационных планов и снижения смертности от наводнений. Необходимо проведение дальнейших исследований с целью уточнения обстоятельств гибели отдельных людей (место, время, поведение во время наводнения и т.д.), что позволило бы более детально анализировать факторы гибели.

Список литературы

Авакян А.Б., Истомина М.Н. К вопросу о классификации наводнений по социально-экономическому ущербу // Информ. Сб. М.: ЦСИ ГЗ МЧС, 2003, №17. – с. 103–107.

Бабурин В.Л., Горячко М.Д., Земцов С.П., Кидяева В.М., Фаддеев М.С., Бедратый С.В., Жидров А.Е., Литвинов В.Ю., Макеева В.А., Москвитина Н.А., Новожилова А.А., Пестич А.С., Слезнов Ф.В., Снежко А.А., Тимофеев И.М. Оценка социально-экономических рисков и ущербов от опасных гидрологических явлений (на примере Славянского района Краснодарского края) // *Геориск*, 2015, № 3.– с. 45–53.

Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы./ под общ. ред. Воробьева Ю.Л. – М.: ООО «ДЭКС- ПРЕСС», 2003.

Добровольский С.Г. Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы. М.: ГЕОС, 2017, 525 с.

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Характеристика наводнений на территории России по природным и социально-экономическим параметрам // *Водные ресурсы*, 2009, т. 36, № 5. – с. 515–531.

Земцов С П., Крыленко И.Н., Юмина Н.М. Социально-экономическая оценка риска наводнений в прибрежных зонах Азово-Черноморского побережья Краснодарского края // Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей / Под ред. проф. К.П. Колтерманна, С.А. Добролюбова, Н.И. Алексеевского, 2012, М.: Триумф. –с. 86-96.

Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем: МКБ-10. В 3-х томах. Т.1. Ч.1. М.: Медицина, 1995.

Экстремальные гидрологические ситуации / отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. – М.: ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. – 464 с.

Ashley S.T., Ashley W.S. Flood Fatalities in the United States *// Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2008, №47. pp.805-815

Brakenridge G.R. Global Active Archive of Large Flood Events, Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado, http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html, 2017

Diakakis M., Deligiannakis G. Changes in flood mortality during the last 50 years in Greece // *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 2013, Vol.23. pp.1397-1406.

Guha-Sapir D. EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, - www.emdat.be, Brussels, Belgium, 2018

Jonkman S.N., Kelman I. An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths // Disasters, 2005, 29(1). pp.75−97

Paprotny D., Morales-Nápoles O., Jonkman S.N. HANZE: a pan-European database of exposure to natural hazards and damaging historical floods since 1870. *Earth Syst. Sci. Data Discuss*., https://doi.org/10.5194/essd-2017-105, 2017

Vinet F., Boissier L., Saint-Martin C. Flashflood-related mortality in southern France: first results from a new database // FLOODrisk 2016 - 3rd European Conference on Flood Risk Management. E3S Web of Conferences, 2016, 7, 06001. doi: 10.1051/e3sconf/2016

Flood fatalities age and gender structure analysis in Russia in 2000-2014

***Belyakova P.A.*[1,2], *Moreido V.M.*[2], *Pyankova A.I.*[3]**

[1]*Hydrometcentre of Russia, Moscow*

[2]*Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow*

[3]*Higher School of Economics, Moscow*

pobel@mail.ru

Abstract: The article discusses the current state of information about flood-related fatalities during catastrophic floods of various genesis in Russia according to Russian Federal State Statistics Service data for the period 2000-2014. Results of the age and gender structure analysis and data on the death place during such events are presented. On average, the floods killed 28 people per year, with more than 80% of the deaths associated with the three most notable events (in 2002 and 2012). About half of the deaths for the whole period are people over 60 years old. In general, more than 55% of the victims were found in their houses or apartments. During the catastrophic flood in Krymsk on July 6-7, 2012, which claimed the maximum number of lives for the entire period under review, older women (52%) also account for the largest share of deaths, with a significantly larger number of people killed in their dwellings - 94%. The study concludes that it is necessary to develop a more targeted strategy for working with the population of flood-prone areas, taking into account the age and gender structure, in order to reduce the number of flood casualties.

Keywords: Flooding, dangerous hydrological events, flood mortality, flood fatalities, drowning

Моделирование подледниковых паводков на примере катастрофического прорыва водоёма в леднике Долк (полуостров Брокнес, Восточная Антарктида)

***Боронина А.С.*[1], *Попов С.В.*[2], *Пряхина Г.В.*[1]**
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
[2]*АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург*
al.b.s@yandex.ru

Аннотация: В ходе летнего полевого сезона 63-й Российской антарктической экспедиции (РАЭ) для изучения провала, образовавшегося в леднике Долк (Dålk Glacier) 30 января 2017 г., и его последствий были выполнены комплексные геодезические, гидрологические и геофизические исследования. Они включали в себя тахеометрическую съёмку, бурение с отбором керна, тепловое глубокое бурение, георадарное профилирование на частотах 150 МГц и 900 МГц, электромагнитные зондирования, выполненные по системе ОГТ, а также гидрологические наблюдения. На основе тахеометрической съёмки, с учётом предварительных результатов георадарных исследований, уточнены морфометрические характеристики провала на момент его образования. Согласно первым представлениям, объём подледникового водоёма, существовавшего до прорыва, составлял около 708690 м^3 при средней глубине 32 м. Без малого спустя год, провал представляет собой каверну размерами 188×250 м средней глубиной около 27 м. Установлено, что за рассматриваемый период времени её площадь изменилась незначительно. Для оценки основных параметров прорыва водоёма в районе ледника Долк за основу принята модель *Ю.Б. Виноградова* с дополнительным учётом наличия ледникового покрова над водной поверхностью. Построенная цифровая модель провала послужила основой для моделирования. Выполнена серия расчётов гидрографов для длин каналов стока воды 764 м, 821 м, 971 м и 1134 м. Наибольшая величина расхода для рассмотренных сценариев отмечается в первом расчётном случае при длине 764 м. Максимум стока достигается через 4 часа 36 минут с момента начала истечения и составляет 515 м^3/с. Время прохождения катастрофического паводка до залива Прюдс (Prudz Bay) составляет 7 часов 20 минут. При этом максимальный расход оценивается в 312 м^3/с.

Ключевые слова: подледниковые водоёмы, подледниковые паводки, субгляциальная гидрология, субгляциальные процессы, Восточная Антарктида, станция Прогресс

Введение

В летний период для районов антарктических оазисов, таких, как холмы Ларсеманн (Larsemann Hills), характерно интенсивное приповерхностное таяние снежно-ледового покрова. Это вызвано как положительными или слабо отрицательными температурами воздуха (Gillieson et al., 1990), так и мощной солнечной радиацией, достигающей 1000 мВт/м^2 (Хромов и Петросянц, 2001). При этом всего в нескольких десятках километров, при движении во внутренние районы континента, гляциологическая ситуация резко меняется: здесь развиты уже области *сухого снега* и *просачивания*. В первой из них таяние не происходит даже в летние сезоны, а во второй оно может быть очень слабым, в зависимости от погодных условий, изменяющихся из года в год (Патерсон, 1984).

Снег, выпадающий на хорошо прогретые скалы, интенсивно тает, и вода заполняет отрицательные формы рельефа местности, образуя озёра, которые располагаются не только в каменном основании, но и на поверхности ледника, а также внутри него. Одним подобных водных объектов является подледниковый водоём, расположенный в краевой

части ледника Долк (Dålk Glacier) в полукилометре к востоку от российской полевой базы Прогресс-1 (рис. 1а). Согласно метеорологическим наблюдениям, антарктическим летом 2017 года сложились аномально тёплые погодные условия (*С.В. Гущин*, частное сообщение), что привело к интенсивному приповерхностному таянию сезонного снежного покрова. Поскольку основным источником питания озёр оазиса является поступление в них талой воды, уровень в некоторых из них достиг критической отметки, что вызвало их прорыв. В частности, подобная ситуация сложилась на озере Болдер (Boulder Lake) и ряде других мелких водоёмов (рис. 1а).

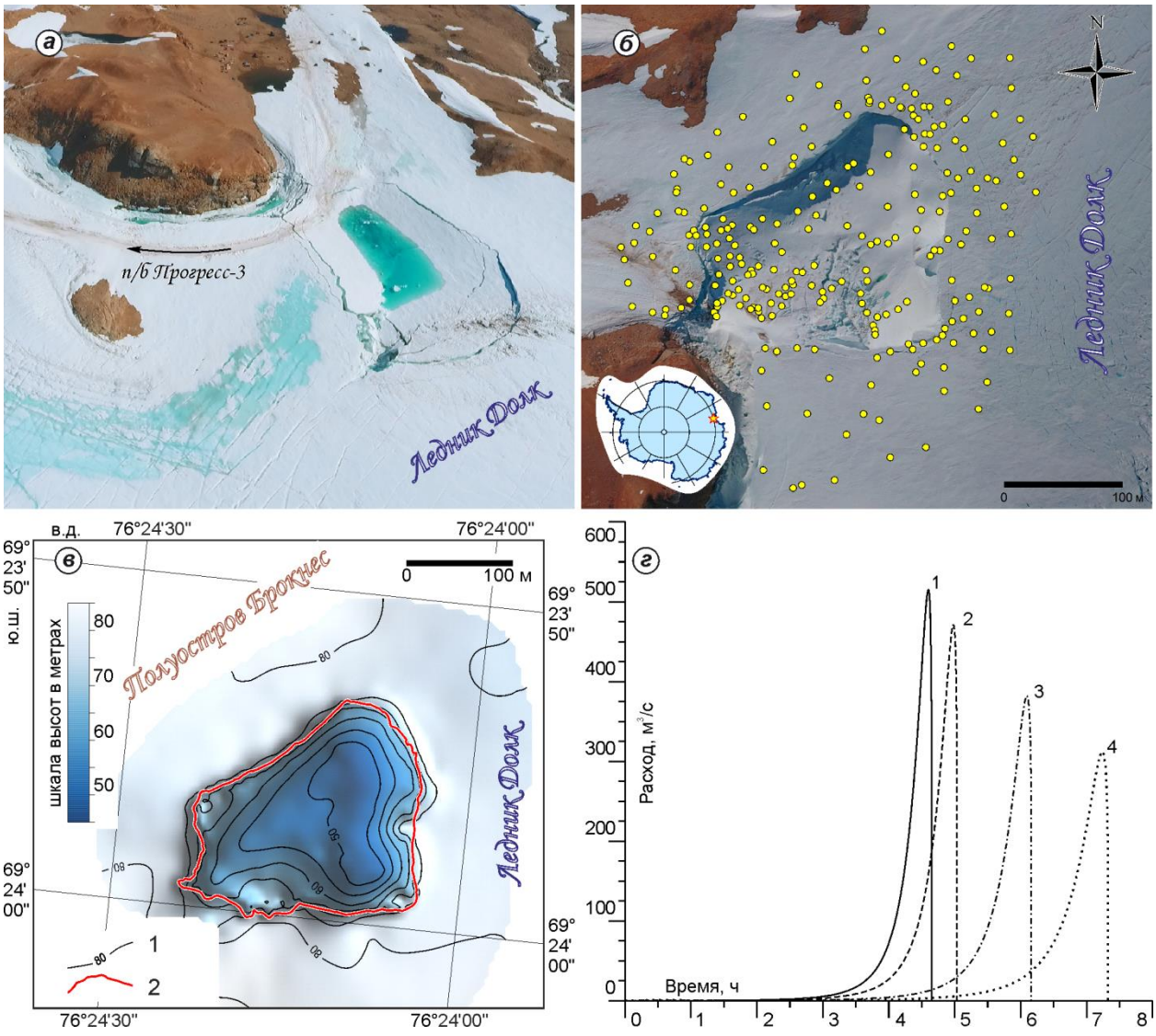


Рис. 1 Провал в леднике Долк и основные результаты моделирования прорывного паводка. Вид провала в момент формирования (а); пункты тахеометрических съёмки (б); схема высот поверхности ледника (в); рассчитанные гидрографы прорывного паводка (г). Кружками показаны пункты тахеометрической съёмки. Цифрами на секции (в) показаны: 1- изогипсы поверхности ледника, сечение изолиний 5 м; 2- контур провала на 8 января 2018 г. Цифрами на секции (г) показаны результаты расчетов гидрографов при длинах тоннеля: 1- 764 м; 2- 821 м; 3- 971 м; 4- 1134 м.

Прорыв первого из них был столь значителен, что образовался бурный поток шириной около 3,5 метров (*А.В. Миракин*, частное сообщение). Волею судеб, вода этих озёр устремилась в подледниковый водоём, расположенный в районе ледника Долк (рис. 1а,б). В момент, когда механические напряжения в озёрной котловине достигли предельных значений, произошел прорыв. Катастрофический паводок повлёк за собой

образование каверны в теле ледника. Кровля над ней не выдержала, и 30-го января 2017 года произошло её обрушение с образованием провала размером около183×220 м и средней глубиной от 20 до 30 м (Popov et al., 2017). Он разрушил участок дороги (рис. 1а), соединяющей российскую станцию Прогресс и китайскую станцию Зонгшан с посадочной площадкой станции Прогресс и пунктом формирования российских и китайских санно-гусеничных походов во внутренние районы Антарктиды. При этом, лишь по счастливому стечению обстоятельств, обошлось без человеческих жертв. К большому сожалению, в ходе летнего полевого сезона 62-й РАЭ никаких гидро-гляциогеофизических исследований, за исключением аэрофотосъёмки, выполнено не было. В связи с этим, все сведения о событиях того времени можно черпать лишь из воспоминаний очевидцев, а также видео- и фотоматериалов, прежде всего, начальника станции *А.В. Миракина*. Предварительные результаты аэрофотосъёмки, которые, на настоящий момент, всё ещё находятся на стадии обработки, изложены в (Popov et al., 2017).

Методика и результаты полевых работ

В ходе летнего полевого сезона 63-й РАЭ, в период с 4-го января по 3-е февраля 2018 г. с целью изучения образовавшегося провала, его последствий, а также поиска новой объездной дороги, были выполнены обширные комплексные геодезические, гидрологические и геофизические исследования. Они включали в себя тахеометрическую съёмку, бурение с отбором керна, тепловое глубокое бурение, георадарное профилирование на частотах 150 МГц и 900 МГц, электромагнитные зондирования, выполненные по системе ОГТ, а также гидрологические наблюдения. В связи с недавним завершением полевых работ, полученные данные большей частью находятся на стадии обработки.

В ходе тахеометрической съёмки в районе провала выполнено 256 пунктов измерений (рис. 1б), по которым построена цифровая модель поверхности ледника (рис. 1в). В работах использовался тахеометр Trimble M3 DR 5″ (Trimble Navigation Ltd, USA). Для увеличения дальности и точности измерений в качестве отражателя применялась призма 1P. Согласно полученным данным, провал, без малого спустя год с момента образования, представляет собой каверну размерами 188×250 м и средней глубиной около 27 м. Фотоматериалы, предоставленные *А.В. Миракиным*, свидетельствуют о том, что в течение зимнего периода её придонная часть была значительно заметена снегом, который сохранился практически в неизменном состоянии вплоть до января 2018 года. Согласно предварительным результатам георадарного профилирования, выполненного внутри каверны, мощность сезонного снежного покрова оценивается приблизительно в 5 м. Из чего можно заключить, что средняя глубина провала на момент его образования составляла 32 м. Это, в целом, согласуется с уточнёнными данными аэрофотосъёмки, выполненной в ходе летнего полевого сезона 62-й РАЭ (*С.С. Пряхин*, частное сообщение).

В силу непредсказуемости прорывных катастрофических паводков, их эффективным методом изучения является математическое моделирование. Его основы, применительно к обсуждаемому явлению, были заложены еще в 1970-х годах. Одна из первых основополагающих работ по данной тематике принадлежит перу *Дж. Ная* (Nye, 1976). В последующие годы был создан ряд других моделей, в которых делается акцент на описание тех, или иных сторон протекания подледниковых паводков (Clarke, 1982; Evatt et al., 2006; Flower, 2009).

Для оценки параметров прорыва водоёма ледника Долк, возьмём за основу модель, предложенную *Ю.Б. Виноградовым* (Виноградов, 1976), и учтём в ней наличие ледникового покрова. Кроме того, используемая в модели аппроксимация зависимости глубины водоёма от его степенной функцией заменена на использование цифровой модели рельефа. Авторы полагают, что при катастрофическом прорыве в придонной части

водоёма, в общем случае, образуется наклонный канал стока. Согласно аэрорадиолокационным данным, полученным в 1990/91 г., мощность ледника Долк на широте провала в среднем составляет 800 м (Попов и Поздеев, 2002; Попов и Киселёв, 2018). По современным представлениям, этот ледник является шельфовым (ADD, 2016). Таким образом, зная среднюю мощность ледника и глубину провала рассчитаем перепад высот между точками входа в тоннель и выхода из него. Серия расчётов гидрографа прорывного паводка проведена для длин тоннелей 764 м, 821 м, 971 м и 1134 м. Предельные значения соответствуют истечению озёрной воды вниз и по кротчайшему расстоянию под шельфовый ледник, а также через ледник Долк до барьера. Поскольку прорыв продолжался до полного опустошения водоёма, то объём воды, пошедший на образование паводка, составляет 708690 м^3. Приведенное значение получено по данным тахеометрической съёмки с учетом снега, накопившегося в течение года. Сведения о температуре воды отсутствуют, и априорно приняты равными 0°С, исходя из того, что озеро было полностью перекрыто ледником. Расчётные гидрографы стока приведены на рис. 1г.

Анализ результатов моделирования показывает, что гидрографы катастрофического прорыва характеризуются сравнительно большой величиной отрицательной асимметрии, свойственной при прорыве озера по внутриледниковому каналу стока. Время от начала истечения воды до прохождения пика паводка увеличивается по мере увеличения длины тоннеля. Наибольшая величина расхода из всех рассматриваемых сценариев прорыва отмечается в первом расчётном случае при длине 764 м. Максимум стока достигается через 4 часа 36 минут с момента начала истечения и составляет 515 м^3/с. После прохождения пика, истечение резко уменьшает свою интенсивность и спустя 4 часа 39 минут, когда из озера спустился весь возможный объём воды, паводок прекратился. Аналогичная ситуация наблюдается и при других значениях длин тоннеля. Форма гидрографа также ассиметричная с пологим подъёмом и резким спадом. Время прохождения катастрофического паводка непосредственно до береговой линии залива Прюдс составляет 7 часов 20 минут. Максимальный расход воды достигает своей величины через 7 часов 13 минут от начала прорыва и составляет 312 м^3/с. Отсутствие натурных наблюдений во время прорывного паводка не позволяет оценить правильность рассчитанных значений. Однако, по мнению авторов, полученные результаты вполне соотносимы с описаниями очевидцев этого события.

Основные выводы

После опорожнения подледникового водоёма опасность нового прорыва в этом районе уменьшилась. Однако, в ходе полевого сезона 63-й РАЭ авторами воочию наблюдалось интенсивное поступление воды в провал. Это указывает на то, что не следует полностью исключать возможность повторного прорыва на рассматриваемом динамичном участке. Понимание механизма перетекания водных масс под ледником является важной фундаментальной задачей, поскольку оно имеет непосредственное отношение к процессам развития подлёдного рельефа и подледниковой гидрологической сети. Помимо чисто научного интереса, исследование прорывов подледниковых озёр имеет также и прикладное значение, в силу того, что этот процесс зачастую приводит к значительным разрушениям и человеческим жертвам. Хорошим тому примером является недавний прорыва озера Разливное, расположенного в районе отечественной полевой базы Молодёжная. Согласно оперативной сводке об основных экспедиционных событиях и операциях РАЭ за период с 18 по 25 января 2018 г., опорожнение водоёма произошло 19 января в 8:30 утра по московскому времени. Высота барьера промытого русла достигла 12-15 метров. Ширина потока оценивается примерно в 10 м. Процесс истечения полностью прекратился к 23 января. Под напором воды снесло одну железную опору эстакады и две опоры погнуло, а вся вода вытекла в бухту Опасная. Таким образом, проблема выявления и мониторинга потенциально прорывоопасных ледниковых и

подледниковых водоёмов не перестаёт быть актуальной, поскольку тесно связана с обеспечением безопасности людей и транспортной техники при осуществлении логистических операций.

Авторы благодарят своих коллег С.Д. Григорьеву, Г.А. Дешевых и А.А. Суханову, а также начальника станции Прогресс 63-й РАЭ А.В. Воеводина и сотрудников станции Р.Р. Латыпова, В.В. Сощенко за помощь в проведении полевых работ; начальника станции Прогресс 62-ой РАЭ А.В. Миракина за предоставление фото и видео материалов, а также за помощь в организации работ отряда; метеоролога станции Прогресс 62-ой РАЭ С.В. Гущина за предоставленные метеорологические данные; сотрудника Института Наук о Земле СПбГУ С.В. Тюрина за предоставленную геодезическую аппаратуру. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00421 А.

Список литературы

Виноградов Ю.Б. Метод расчета гидрографа паводка при прорыве подпруженного ледником озера // *Селевые потоки*, сб. 1., 1976: 138-153

Патерсон У.С.Б. Физика ледников. Пер. с англ. // М.: *Мир*, 1984: 472 с.

Попов С.В., Киселев А.В. Отечественные аэрогеофизические исследования на землях Мак-Робертсона, Принцессы Елизаветы и Вильгельма II, Восточная Антарктида // *Криосфера Земли*, XXII, №1., 2018: 3-13

Попов С.В., Поздеев В.С. Ледниковый покров и коренной рельеф района гор Принс-Чарльз (Восточная Антарктида) // *Материалы гляциол. исслед.*, вып. 93., 2002: 205-214

Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: Учебник – 5-е изд., перераб и доп. // М.: *Изд-во МГУ*, 2001: 528 с.

Antarctic Digital Database (ADD), Version 7.0, January 2016. Scientific Committee on Antarctic Research, British Antarctic Survey, Cambridge

Clarke G.K.C. Glacier outburst floods from «Hazar Lake», Yukon Territory, and the problem of flood magnitude prediction // *J. Glaciol.*, vol. 28, No 98., 1982: 3-21

Evatt G.W., Fowler A.C., Clark C.D., Hulton N.R.J. Subglacial floods beneath ice sheets // *Phil. Trans. R. Soc.*, Seria A, No 364., 2006: 1769-1794

Fowler A.C. Dynamics of subglacial floods // *Proc. Royal Society. A. Mathematical Physics. Engineering Sciences*, vol. 465, No 2106., 2009: 1809-1828

Gillieson D., Burgess J., Spate A., Cochrane A. An atlas of the lakes of the Larsemann Hills, Princess Elizabeth Land, Antarctica. ANARE Research Notes // *Antarctic Division Australia*, No 74., 1990: 173 p.

Nye J.F. Water flow in glaciers: jökulhlaups, tunnels, and veins // *J. Glaciol.*, vol. 17, No 76., 1976: 181-207

Popov S.V., Pryakhin S.S., Bliakharskii D.P., Pryakhina G.V., Tyurin S.V. Vast ice depression in Dålk Glacier, East Antarctica // *Ice and Snow*, vol. 57, No 3., 2017: 427-432

Mathematical modelling of the subglacial floods illustrated with the catastrophic outburst reservoir at the Dålk Glacier (Broknes Peninsula, East Antarctica)

***Boronina A.S.*[1], *Popov S.V.*[2], *Pryakhina G.V.*[1]**
[1]*St. Petersburg State University, Saint Petersburg*
[2]*Polar Marine Geosurvey Expedition, Saint Petersburg*
al.b.s@yandex.ru

Abstract: During the austral summer field season of the 63rd Russian Antarctic Expedition complex geodetic, hydrological and geophysical research was performed at the glacial dip which occurred within the Dålk Glacier on January 30, 2017. The research included tacheometric survey, ice core drilling, thermal drilling, GPR sounding at frequencies 150 MHz and 900 MHz, electromagnetic sounding at CDP methodic and hydrological observation. Using the tachometric data and preliminary results of the GPR survey we specified morphometric characteristics of the dip at the moment of its formation. Due to preliminary estimates, the volume of the subglacial reservoir, which existed before the outburst, occurred was 708690 m^3 with the average depth of 32 m. A year after, in January 2018, there is a cavern with size of 188×250 m and the average depth about 27 m. Its area did not change significantly. To evaluate the main parameters of the outburst we used the model of *Yu.B. Vinogradov* complemented with accounting the existence of the ice layer above the water surface. A digital model of the surface of the dip necessary for modeling was achieved with tacheometric survey. Hydrographs for channels with length 764 m, 821 m, 971 m and 1134 m were computed. Maximal water discharge (515 m^3/s) is observed at the first case (764 m long channel) in 4 hours 36 minutes from the beginning of the effusion. Time of the water propagation to the Prudz Bay is 7 hours 20 minutes with maximal discharge estimated as 312 m^3/s.

Keywords: subglacial reservoirs, subglacial floods, subglacial hydrology, subglacial processes, East Antarctica, Progress station

Разрушение автодорог, расположенных на морских террасах, в связи с дефектами водоотведения

***Верховов К.В.*[1], *Рыбальченко С.В.*[2]**
[1]*МКУ «Управление капитального строительства», Южно-Сахалинск*
[2]*ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал, Южно-Сахалинск*
konstantin_verhovov@mail.ru

Аннотация: На основе полевых наблюдений выделены наиболее характерные дефекты элементов автомобильных дорог, расположенных на морских террасах. Установлена одна из главных причин их проявления: дефекты систем водоотведения. Выделено три группы дефектов водоотведения: отсутствие организованного водоотведения, конструктивные дефекты водопропускных сооружений и недостаточная пропускная способность. Определены механизмы негативного воздействия дефектов водоотведения на конструктивную целостность автодорог, расположенных на морской террасе.

Ключевые слова: водоотведение, водопропускные сооружения, дефекты.

Введение и постановка задачи

На урбанизированных территориях морских побережий поверхности и подножья морских террас зачастую представляются наиболее удобными участками для трассировки линейных сооружений, в том числе транспортных магистралей, поскольку позволяют сократить капитальные вложения на стадии строительства (Рыбальченко, Верховов, 2017). Стоит отметить, что в связи с целым рядом особенностей морских побережий (инженерно-геологических, геоморфологических, климатических и т.д.) эксплуатация автомобильных дорог, расположенных на морских террасах может, значительно осложняться.

Неблагоприятные факторы, а также опасные экзогенные процессы (сели, оползни, эрозия, паводки и т.д.) могут значительно снижать эксплуатационные характеристики транспортных магистралей, расположенных на морских террасах, и представлять серьезную угрозу их конструктивной целостности (Полунин, 1989). Значительную роль в активизации подобных негативных явлений играют ошибки на стадии проектирования, строительства и эксплуатации автодорог в части организации водоотведения ливневых и талых вод. Помимо непосредственного механического воздействия на различные участки земляного полотна и полосы отвода, поверхностные и подземные воды, а также образуемые ими водотоки, могут оказывать значительное влияние на физико-механические и химические свойства грунтов земляного полотна и покрытия, снижая их несущую способность. Неумело организованный сбор, и отведение поверхностных вод за пределы полосы дорожного отвода приводят к развитию денудационных, эрозионных и селевых процессов в теле земляного полотна или в непосредственной близости от него.

Дефекты систем водоотведения приводят к повреждению различных элементов автодорог: земляного полотна, полосы отвода, дорожной одежды, искусственных дорожных сооружений и элементов обустройства автомобильной дороги.

Условно дефекты водоотведения, способствующие повреждению автодорог расположенных на морских террасах, можно разделить на несколько категорий: отсутствие организованного водоотведения, конструктивные дефекты и недостаточная пропускная способность малых водопропускных сооружений (рис. 1).

Отсутствие организованного водоотведения

Отсутствие организованного водоотведения может относиться как к элементам земляного полотна самой автодороги (покрытию, откосам) так и к прилегающей территории (полосе отвода).

Конструктивные дефекты водопропускных сооружений

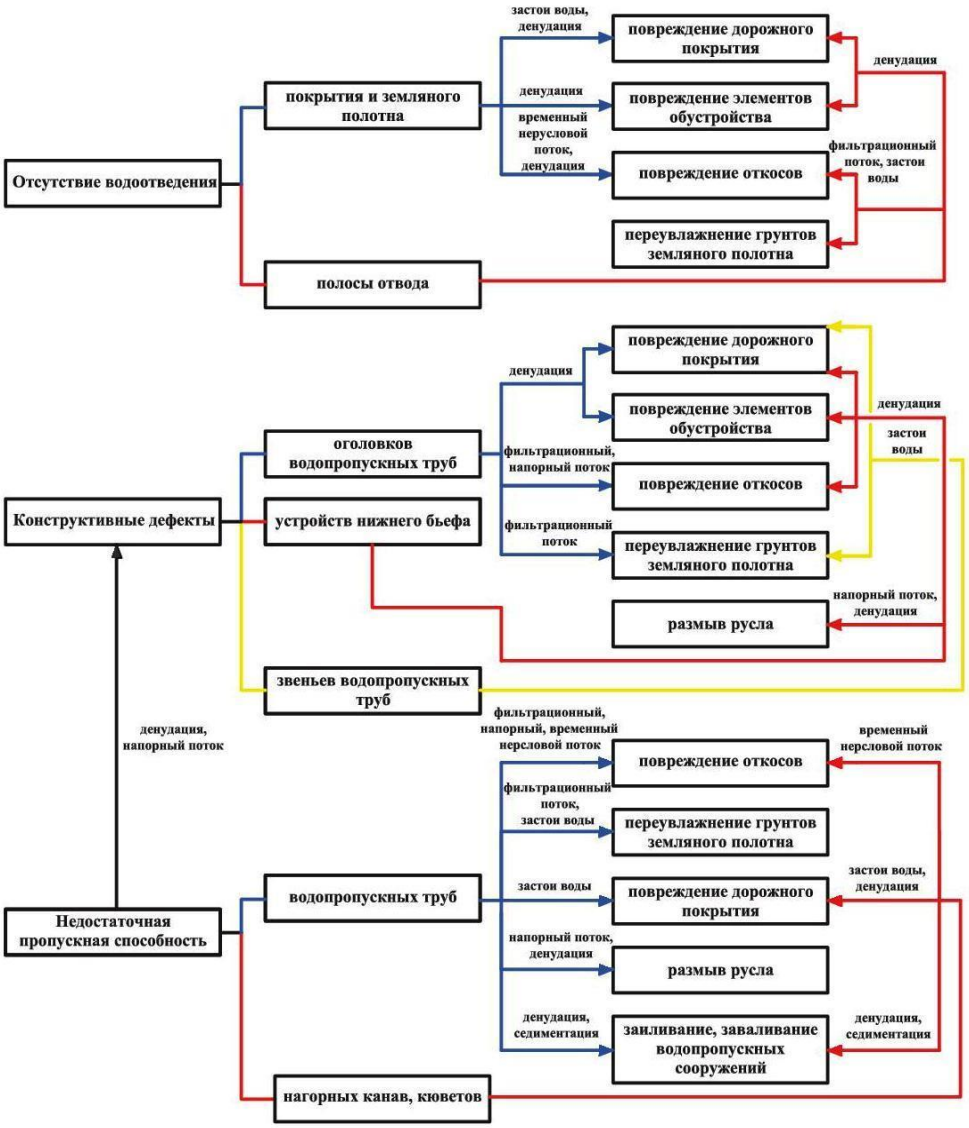
Из общего количества водопропускных сооружений на автомобильных дорогах общего назначения 95% составляют малые водопропускные сооружения в виде водопропускных труб различной конструкции. Несмотря на их широкое использование, довольно часто распространены конструктивные дефекты подобных сооружений связанные с нарушением требований технических нормативов в части их обустройства или повреждением отдельных элементов в процессе эксплуатации. Среди конструктивных дефектов водопропускных труб наиболее часто встречаются повреждение или отсутствие оголовков и противофильтрационных элементов, конструкций нижнего бьефа, снижающих динамические нагрузки водного потока (рисберм, быстротоков, водобойных колодцев и т.д.), а также смещение секций и раскрытие швов между звеньями водопропускных труб.

Рис. 1 а) Разрушение откоса земляного полотна в связи с отсутствием организованного водоотведение. б) Разрушение конструкций водопропускного сооружения. в) Забивание отверстий двухочковой трубы и размыв бьефа из-за малой пропускной способности

Недостаточная пропускная способность водопропускных сооружений

Угрозу конструктивной целостности автодорог, расположенных на морских террасах, представляют водопропускные трубы и их бьефы с низкой пропускной способностью или отсутствием возможности селепропуска, а также кюветы и нагорные канавы со стороны верхнего бьефа. Недостаточная пропускная способность возникает вследствие заиливания или заваливание водопропускных сооружений, а также несоответствия их эксплуатационных характеристик.

Табл. 1 Механизм воздействия дефектов водоотведения на различные элементы автодорог



Негативное воздействие дефектов водоотведения

Механизм воздействия дефектов систем водоотведения опасных для конструктивной целостности автодорог, расположенных на морских террасах, различен: застои воды на покрытии, переувлажнение грунтов земляного полотна, временные нерусловые потоки с откосов земляного полотна, фильтрационные потоки в теле насыпи, напорные гидродинамические потоки, денудация (оползни, эрозия, селеформирование и т.д.), седиментация (оседание твердых частиц в жидкости).

Скопление воды на покрытии и обочинах автодороги может значительно снижать их эксплуатационные характеристики и несущую способность (Ильина, 2000). В случаи неорганизованной концентрации и движения поверхностных вод на твердом усовершенствованном покрытии автодороги в местах изменения продольного профиля или траектории движения (на виражах, пересечениях, спусках и подъемах), а также в результате перелива насыпи земляного полотна возможно возникновение временных нерусловых потоков с откосов земляного полотна, способствующих эрозии, денудации и селеформированию.

Фильтрационные потоки в теле насыпи, возникающие вследствие ее подтопления или отсутствия противофильтрационных элементов, приводят к переувлажнению и разуплотнению грунтов земляного полотна (также возможно в случае повреждения конструкции самой водопропускной трубы), а также разрушению низового откоса гидродинамическим давлением, суффозионным выносом и денудацией.

Напорные гидродинамические потоки в результате забивания отверстий водопропускных труб, недостаточной вместительности бьефов, отсутствия устройств гасителей энергии потока вызывают размывы русел, бьефов, откосов и активное развитие селевых и оползневых процессов.

Седиментация твердых частиц в период паводков и селепрохождений приводит к заиливанию и заваливанию водопропускных сооружений и выходу их из строя (Перевозников, Ильина, 2000).

Таким образом, повреждение одних и тех же элементов автодорог, расположенных на морских террасах, возможно при различных дефектах водоотведения, обладающих разнообразными негативными механизмами воздействия на транспортные магистрали (табл. 1).

Список литературы

Ильина А.А.. Новый материал для конструкций системы поверхностного водоотвода на автомобильных дорогах. М., 2000 -57с.

Перевозников Б.Ф., Ильина А.А.. Сооружения системы водоотвода с проезжей части автомобильных дорог. М., 2002 – 254 с.

Полунин Г.В. Динамика и прогноз экзогенных процессов. М., Наука, 1989 – 232 с.

Рыбальченко С.В., Верховов К.В.. Склоновые селевые бассейны и их морфодинамические особенности.// *Геориск*. № 4, 2017. С. 58 - 63.

The destruction of roads, located on the marine terraces, in respect of defects in drainage

Verkhovov K.V. [1], ***Rybalchenko S.V.*** [2]

[1]*MPI "Capital construction management", Yuzhno-Sakhalinsk*

[2]*Far East Geological Institute of Far Eastern Branch Russian Academy of Science, Sakhalin Department, Yuzhno-Sakhalinsk*

konstantin_verhovov@mail.ru

Abstract: On the basis of field observations, the most characteristic defects of the road elements located on the sea terraces are identified. One of the main reasons of their manifestation is established: defects of systems of water disposal. Three groups of defects of sanitation: the lack of organized drainage, design defects of culverts and lack of capacity. The mechanisms of negative impact of wastewater defects on the structural integrity of roads located on the sea terrace.

Keywords: drainage, culverts, defects.

Особенности формирования и динамики водоснежных потоков на морских террасах

Генсиоровский Ю.В.[1], Древило М.С.[3], Боброва Д.А.[1], Жируев С.П.[2]
[1]ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал, г. Южно-Сахалинск
[2]АНО НИЦ «Геодинамика», г. Южно-Сахалинск
[3]ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург
gensiorovskiy@mail.ru

Аннотация: Рассматриваются особенности формирования водоснежных потоков на склонах морских террас о. Сахалин. Приводятся наблюденные и расчетные данные характеристик водоснежных потоков и мокрых лавин.

Ключевые слова: Сахалин, морские террасы, водоснежный поток, факторы формирования водоснежного потока, дальность выброса водоснежного потока.

Введение

Водоснежные потоки на о. Сахалин изучены недостаточно, их формированию посвящены немногочисленные работы (Бударина и др., 1987, Казаков, 2000, Генсиоровский и др, 2015). Некоторыми авторами (Казаков, 2000) вполне обосновано предполагалась вероятность зарождения данных природных явлений и на юге о. Сахалин на низких склонах (высотой до 100 м) морских террас, в то время как в основном формирование водоснежных потоков характерно для горных областей (Селеопасные районы СССР, 1976).

Постановка проблемы

Исследования водоснежных потоков (ВСП) на о. Сахалин было начато после обнаружения ВСП весной 1982 г. на склоне г. Клокова (юго-восточное побережье о.Сахалин). Основным районом исследований в период с 1982 по 1996 год являлось юго-западное побережье о. Сахалин, в центральной части острова ВСП отмечались эпизодически в 1989, 1998 г.г. Тем не менее, можно говорить о недостаточной изученности ВСП, как в горной части о. Сахалин, так и на его побережьях.

Впервые на юге острова водоснежный поток был зафиксирован в 1981 г. на юго-западном побережье о. Сахалин на склоне морской террасы. Единичные случаи схода водоснежных потоков на юге острова отмечались в апреле 1982 и 1989 гг. Основной причиной формирования этих потоков послужила оттепель с резким подъемом температуры воздуха.

Факторы формирования ВСП на о. Сахалин и их динамика малоизученны, поэтому на данном этапе исследования водоснежных потоков на о. Сахалин сбор, описание и анализ материалов о случаях схода таких потоков является важной задачей для получения данных об условиях формирования, параметров и режима ВСП, а также их прогноза.

Формирование ВСП на морских террасах побережья о. Сахалин связано с целым рядом факторов. Литология и рельеф. Вдоль морского побережья развит комплекс морских террас. Геологическое строение предопределяет морфологию берегового уступа, склоны расчленены многочисленными эрозионными врезами и денудационными воронками, углы откоса превышают 30º. В процессе выветривания коренных пород образуются существенно глинистые делювиальные образования, препятствующие водоотдаче из снежной толщи в трещиноватые полускальные грунты в периоды интенсивного таяния, а, следовательно, способствующие ее водонасыщению. Особенность

морских террас вдоль западного побережья состоит в сильной увлажнённости подстилающей поверхности их плоских участков, что в период весеннего снеготаяния способствует накоплению избыточного количества воды. В месте перехода слабонаклонного участка террасы в крутой склон, как правило, находится стартовая зона ВСП.

Из-за большой области сноса, расположенной на незалесенной поверхности морской террасы, на подветренных склонах за зиму может накапливаться до 1200 мм осадков в пересчете на водный эквивалент, что в 3-4 раза превышает средние многолетние значения на ограниченной площади снегосборов (Казакова и др., 2016).

Следует отметить, что в прибрежной зоне полуострова Крильон при высоте снежного покрова на склонах более 0,6 м подстилающая поверхность, как правило, находится в талом состоянии.

Климатические и метеорологические условия. На юго-западном побережье о. Сахалин, и в том числе, во все зимние месяцы в периоды прохождения глубоких циклонов среднесуточная температура может повышаться до положительных значений, а осадки выпадать в жидком виде.

Таким образом, на юге острова имеются необходимые условия для образования ВСП.

Решение

Некоторые авторы ВСП представляют как переходную модель между собственно селем, в котором транспортирующей средой является вода, и снежной лавиной мокрого снега (Перов, 2014). Ввиду того, что основной массой твердой составляющей водоснежного селя являются комки и зерна снега, определение границы перехода между снежной лавиной и водоснежного потока в некоторых случаях может вызывать затруднение.

Одними из критериев в данном случае может быть характер отложений и дальность выброса (Генсиоровский и др., 2015).

Отложения ВСП характеризуются большей распластанностью и растеканием за счет большего содержания водной фазы. Тогда как для лавин мокрого снега характерна остановка основной массы снега у подножия склона. В свою очередь дальность выброса также определяется генетическим типом потока.

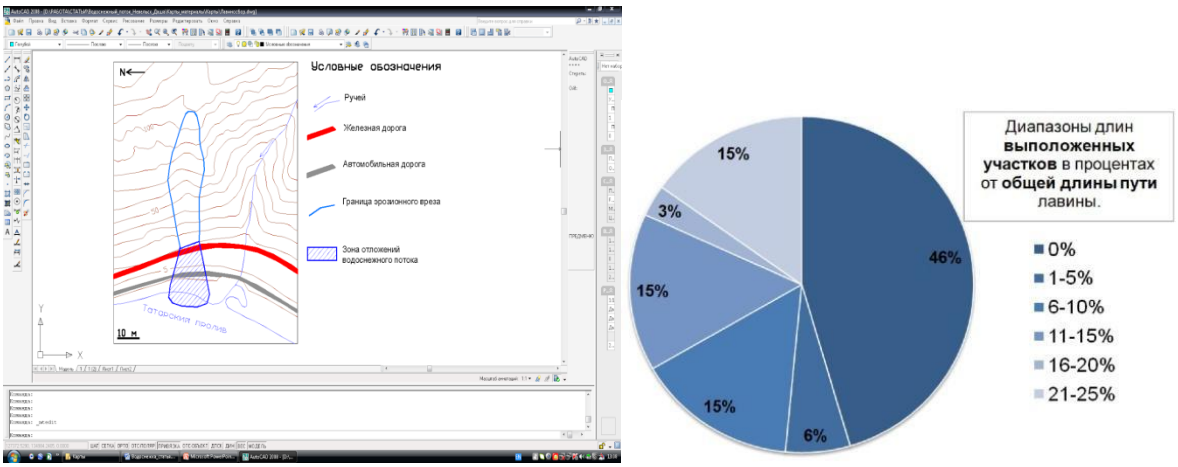


Рис. 1 а) Карта-схема участка формирования ВСП, б) Процентное соотношение лавин мокрого снега по выделенным диапазонам в зависимости от длины пути по выположенным участкам

На примере ВСП, сформировавшегося 8-9 апреля 2012 года проведем сравнительный анализ дальностей выброса ВСП (определенной графически) (рис.1, а) и лавин мокрого снега, формировавшихся на о. Сахалин (табл. 1).

Табл. 1 Характеристики водоснежного потока 9 апреля 2012 года

Зона формирования			Зона отложений							
Площадь эрозионного вреза, м²	Длина эрозионного вреза, м	Средняя ширина эрозионного вреза, м	Площадь, м²	Максимальная ширина, м	Средняя толщина, м	Максимальная толщина, м	Объем, м³	Дальность выброса, м	Длина пути выположенного участка, м	Длина пути выположенного участка (% от общей длины пути)
600	50	13	340	20	1,5	2,5	500	70	24	34

Для каждой лавины мокрого снега было получено процентное соотношение выположенного участка пути к общей его длине. Затем полученные значения разнесены по диапазонам с пятипроцентным шагом. Результаты иллюстрируются циклограммой (рис. 1, б).

Циклограммой показано, что 100% лавин уложились в диапазоны от 0 до 25%, дальность же выброса рассматриваемого нами водоснежного потока приходится на шаг 30-35%, что существенно выше значений, характерных для лавин мокрого снега.

Отложения потока представляют собой однородную снежную массу, почти лишенную снежных блоков и окатышей ненарушенного сложения, с большим количеством растительных остатков, содержание минерального грунта не превышает 1%.

Заключение

1. Водоснежные потоки формируются на острове Сахалин повсеместно, в т. ч. на юге о. Сахалин на склонах морских террас высотой около 100 м.
2. Основной ущерб от водоснежных потоков на юге о. Сахалин наносится за счет завала и размыва полотна автомобильной и железной дороги, расположенной вдоль уступа морских террас.
3. Средняя повторяемость водоснежных потоков на юге о. Сахалин –1 раз в 10 лет. Формирование водоснежных потоков происходит за счет резкого подъема температуры воздуха и быстрого водонасыщения трещиноватых полускальных грунтов
4. Водоупором при насыщении снежной толщи водой служат талые делювиальные образования глинистого состава.
5. Отложения водоснежного потока характеризуются большей распластанностью и растеканием по сравнению с лавинами мокрого снега за счет большего содержания водной фазы.
6. Дальность выброса водоснежных потоков существенно выше дальности выброса лавин мокрого снега на о. Сахалин.

Список литературы

Бударина О. И, Перов В. Ф., Сидорова Т. Л. Селевые явления о. Сахалин // *Вестник МГУ*, серия География. – 1987, №3. – С. 76-81.

Генсиоровский Ю.В., Жируев С.П., Кононова Д.А. Водоснежные потоки на юге о. Сахалин. // *Геориск.* № 2, 2015. С.18-20.

Казаков, Н. А. Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин): дисс. канд. геол.– мин. наук. – М.: Деп. в ВЦНТИ, 2000. – 216 с.

Казакова Е.Н., Музыченко А.А., Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А., Метелевое перераспределение снежного покрова как фактор активизации экзогенных геодинамических процессов (на примере о. Сахалин).// *Геориск*. № 3, 2016. с. 28-33.

Перов В. Ф. , Т. Л. Сидорова // Метеорологические условия формирования водоснежных потоков / Материалы гляциологических исследований. – 1988, вып. 64. – С. 41 – 47.

Селеопасные районы СССР / Под ред. С. М. Флейшмана и В. Ф. Перова. – Изд. МГУ, 1976. – 293 с.

Селевые явления. Терминологический словарь. 2-е издание, дополненное. – М.: Издательство Московского университета, 2014. – С.7.

Formation and dynamics of slushflow on sea terraces

***Gensiorovskiy Yu.V.*[1], Drevilo M.S.[3], Bobrova D.A.[1], Zhiruev S.P.[2]**

[1]*Sakhalin Department of Far East Geological Institute, Far East Branch of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Rossia*

[2] *Independent noncommercial organization research center of science of Dangerous Geodynamic Processes «Geodynamics», Yuzhno-Sakhalinsk, Rossia*

[3]*Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg, Rossia*

gensiorovskiy@mail.ru

Abstract: The paper presents the information about the formation of slushflow on the slopes of marine terraces on the Sakhalin Island. Described of run-out distance of slushflow and the factors of formation of slushflow on the slopes of the marine terraces of the southern part of the island.

Keywords: Sakhalin, marine terraces, slushflow, factors of formation of slushflow, run-out distance of slushflow.

Разработка схем планировочных ограничений к генеральным планам населенных пунктов как мероприятие по снижению ущербов от наводнений (на примере юга о. Сахалин)

Генсиоровский Ю.В.*[1], Казаков Н.А.[1], Боброва Д.А.[1], Казакова Е.Н.[1], Музыченко А.А.[1], Рыбальченко С.В.[1], Жируев С.П.[2], Павлов В.С.[1], Музыченко Л.Е.[1], Виноградов А.Ю.[3], Кучмин А.В.[3]

[1]ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал, Южно-Сахалинск

[2]АНО НИЦ «Геодинамика», Южно-Сахалинск

[3]НПО Гидротехпроект, Санкт-Петербург

gensiorovskiy@mail.ru

Аннотация: В работе рассматриваются факторы, способствующие затоплению урбанизированных территорий на о. Сахалин при прохождении тайфунов и глубоких циклонов. Предлагаются мероприятия, позволяющие минимизировать риски от наводнений на стадии разработки градостроительной документации.

Ключевые слова: остров Сахалин, наводнения, населенные пункты, генеральные планы городов, антропогенные факторы.

Введение

Сахалинская область – один из наиболее опасных регионов России с точки зрения угрозы наводнений и связанной с ними активизации русловых процессов для населения и хозяйства. На территории о. Сахалин насчитывается свыше 60 тысяч рек и ручьев (Атлас, 1967, Ресурсы, 1973). Несмотря на небольшие площади населенных пунктов количество рек и ручьёв, протекающих в их границах, колеблется от 2 до 14 (Мусохранова и др.,2010). Большая часть рек о. Сахалин относится к категории горных и полугорных. Большая часть водосборов бассейнов рек Сахалина лежит в интервале абсолютных высот 350–1200 м при глубине расчленения рельефа 250–1000 м. Площади речных бассейнов чаще всего – 1-15 км^2, длина водотоков – 3–10 км; средневзвешенный уклон русла – 40–60 ‰; максимальный уклон – более 100 ‰, уклоны водосборов малых рек могут достигать 500 ‰. Площади водосборов характерных речных бассейнов о. Сахалин колеблются от 15 до 600 км^2, средние уклоны склонов водосборов составляют 300–500‰ , что обеспечивает быстрый сток влаги при снеготаянии и особенно при выпадении интенсивных дождей в летне-осенний период. В межень ширина русел не превышает 3-10 м, скорости течения на перекатах составляют 0,3-0,5 м/с, глубины колеблются от 0,1 до 0,7 м. Зачастую в пределах городской черты сток прекращается. Во время прохождения дождевых паводков ширина русел увеличивается до 50-100 м, а скорость течения – до 3-4 м/с, уровень высоких вод может подниматься над меженным на 4-6 м. Как следствие резко увеличивается эродирующая способность водного потока. Большие площади водосборных площадей обезлесены в результате лесных пожаров и интенсивной рубки. Все это обусловливает развитие процессов боковой и глубинной эрозии на реках о. Сахалин. Высокие паводки наблюдаются в среднем раз в 3-4 года. Средняя продолжительность паводков на реках с площадями менее 1000 км^2 составляет 6-15 суток, на более крупных – 15-18 суток (Казаков, Генсиоровский, 2007).

Постановка проблемы

При прохождении тайфунов и циклонов, приносящих обильные осадки, подъем уровней воды в реках происходит за несколько часов. Как правило, при прохождении

паводков затапливаются территории населенных пунктов. Зоны затопления могут составлять десятки квадратных километров, а ширина зоны интенсивной русловой эрозии – до 2 км (Генсиоровский, 2011). Причины наводнений, обусловленные антропогенным воздействием, можно свести в несколько групп. Отсутствие древесной растительности на больших площадях водосборных бассейнов в результате ее сведения. Увеличение площадей водонепроницаемых покрытий (асфальт, бетон и др.) ведет к увеличению максимального стока в городе. Существующие в городах системы ливневой канализации не справляются с объемами поступающей талой и дождевой воды, что приводит к затоплению территории. Ливневая канализация зачастую не охватывает всю территорию городской застройки. Стеснение живого сечения воды в результате строительства мостовых переходов приводит к нарушению водопропускной функции русла и, как следствие, к размыву берегов и затоплению (Белоногова и др., 2016). Складирование снега при расчистке с городской территории в снежные отвалы приводит к формированию в пределах городской черты крупных снежников, водный эквивалент которых может превышать 200 000 м^3 воды. В результате таяния такого объема снега происходит увеличение объема стока рек. Переполнение водохранилищ расположенных в пределах городской черты, аварийный сброс воды увеличивает разрушающую силу водного потока, накладываясь на паводочную волну что приводит к катастрофическим последствиям (катастрофический паводок в г. Крымск, 2012 г). В результате хозяйственного водопотребления и водоотведения происходит сброс хозяйственно-бытовых стоков в систему городской канализации и далее – в реки. Это увеличивает глубину затопления застроенных территорий и влияет на инженерно-геологические характеристики грунтов в пределах городской черты (паводок на р. Амур, 2013) (Болгов и др.,2015). Степень обеспеченности сооружениями инженерной защиты от опасных процессов в населенных пунктах области не достаточна. В 60-70 г.г. XX в. на территории отдельных населенных пунктов велось строительство сооружений инженерной защиты (г.г.Невельск, Холмск, Южно-Сахалинск, Углегорск) Данные сооружения были представлены: противопаводковыми дамбами, берегозащитными сооружениями, однако ни в одном населенном пункте комплексной защиты от наводнений не было построено(Мусохранова и др., 2010). К настоящему времени большинство сооружений пришло в негодность и не обеспечивает даже минимальной защиты территории. Строящаяся в некоторых населенных пунктах инженерная защита не соответствует опасности территории. Проектные решения принимаются застройщиками без согласования с органами строительного надзора и без учета характеристик опасных процессов.

Решение

На этапе подготовки генеральных планов городских округов и схем территориального планирования используются карты масштабов 1:100 000 и 1:500 000, которые не позволяют с необходимой точностью зонировать территорию по степени проявления опасных процессов. Поэтому Министерством строительства Сахалинской области с учетом рекомендаций Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН было принято решение о разработке «Схем планировочных ограничений» (в дальнейшем «Схемы…») к генеральным планам населенных пунктов Сахалинской области, что является одним из основных шагов по минимизации рисков от опасных природных процессов, в том числе от наводнений.

«Схемы планировочных ограничений» (опасность наводнений, опасность воздействия русловых процессов) к генеральным планам населенных пунктов Сахалинской области разрабатывались в масштабе 1:5 000-1:10 000. На основании полученных натурных и расчетных данных, было выделено 8 категорий опасности наводнений в части затопления территории (табл. 1). Категории опасности наводнений определялись исходя из: глубины затопления участка территории, максимальной скорости течения на затопленном участке, воздействия паводочной волны на здания, сооружения, воздействия на объекты жизнеобеспечения, инфраструктуру и население.

Табл. 1 Категории опасности наводнений в Сахалинской области

№ категории	Глубина затопления, м	Скорость течения потока, м/с	Воздействие на здания и сооружения	Воздействие на территорию, объекты жизнеобеспечения, инфраструктуру и население	Меры по защите населения
1	2	3	4	5	6
I	5,5 - 6,5	4,5 - 5,0	Полное разрушение деревянных домов и сооружений, кирпичных малоэтажных зданий и зданий средней этажности (4 этажа и более), промышленных зданий с легким металлическим каркасом и зданий бескаркасной постройки Сильное повреждение промышленных зданий с тяжелым металлическим или железобетонным каркасом (стены из керамзитобетонных панелей)	Затопление территории Прекращение подачи электроэнергии. Выход из строя систем водоснабжения и канализации Невозможность дальнейшего проживания в жилом фонде	Строительство сооружений инженерной защиты территории. До постройки защиты – эвакуация населения
II	4,5 - 5,5	3,5 - 4,5	Полное разрушение деревянных домов и сооружений, кирпичных малоэтажных зданий, промышленных зданий с легким металлическим каркасом и зданий бескаркасной постройки Сильное повреждение кирпичных домов средней этажности (4 этажа и более) Незначительное повреждение бетонных и железобетонных зданий, сейсмоустойчивых сооружений	Затопление территории Прекращение подачи электроэнергии Выход из строя систем водоснабжения и канализации Невозможность дальнейшего проживания в жилом фонде	Строительство сооружений инженерной защиты территории. До постройки защиты – эвакуация населения
III	3,5 - 4,5	2,5 - 3,5	Полное затопление жилых и производственных помещений Полное разрушение деревянных домов и сооружений Сильное повреждение кирпичных малоэтажных зданий (1-2 этажные), промышленных зданий с легким металлическим каркасом и зданий бескаркасной постройки Незначительное повреждение промышленных зданий с тяжелым металлическим или железобетонным каркасом (стены из керамзитобетонных панелей)	Затопление территории Прекращение подачи электроэнергии. Выход из строя систем водоснабжения и канализации Невозможность дальнейшего проживания в жилом фонде	Строительство сооружений инженерной защиты территории. До постройки защиты – эвакуация населения
IV	2,5 - 3,5	2,0 - 2,5	Затопление жилых и производственных помещений Незначительное повреждение кирпичных малоэтажных зданий (1-2 этажные), промышленных зданий с легким металлическим каркасом и зданий бескаркасной постройки Сильное повреждение деревянных домов и сооружений	Затопление территории Прекращение подачи электроэнергии Выход из строя систем водоснабжения и канализации Невозможность дальнейшего проживания в жилом фонде	Строительство сооружений инженерной защиты территории. До постройки защиты – эвакуация населения
V	1,5 - 2,5	1,5 - 2,0	Частичное затопление жилых и производственных помещений Незначительное повреждение кирпичных малоэтажных зданий, промышленных зданий с легким металлическим каркасом и зданий бескаркасной постройки Сильное повреждение деревянных домов и сооружений	Затопление и размыв садово-огородных участков, полей и дорог Ограничение подачи электроэнергии Нарушение функционирования систем водоснабжения и канализации	Строительство сооружений инженерной защиты территории. До постройки защиты частичная эвакуация населения из наиболее опасных зон
VI	0,5 - 1,5	1,0 - 1,5	Частичное затопление жилых и производственных помещений Повреждение деревянных домов и сооружений	Затопление и размыв садово-огородных участков, полей и дорог Кратковременное ограничение подачи электроэнергии Системы водоснабжения и канализации функционируют в обычном режиме	Строительство инженерных сооружений для пропуска ливневых и талых вод.
VII	<0,5	<1,0	Подтопление хозяйственных построек подсобных хозяйств	Подтопление садово-огородных участков, полей и дорог Подача электроэнергии функционирует без перебоев Системы водоснабжения и канализации функционируют в обычном режиме	Строительство инженерных сооружений для пропуска ливневых и талых вод

В части опасности русловых процессов было выделено 4 категории опасности русловых процессов. Категории опасности русловых процессов на территории населенных пунктов определялись исходя из: максимально возможных вертикальных русловых деформаций, плановых русловых деформаций и воздействия русловых процессов на селитебную территорию, объекты и сооружения расположенные на рассматриваемых участках.

Полученные категории опасности позволяют выделить на территории населенных пунктов зоны с различной степенью воздействия на территорию, здания и сооружения при их затоплении Пример схемы планировочных ограничений к генеральному плану населенного пункта (опасность наводнений г. Южно-Сахалинск, обеспеченность 1%), представлен на рисунке 1.

Таким образом, местные администрации, имея «Схемы…» точно и конкретно могут выполнить зонирование и все планировочные ограничения на территориях населенных пунктов.

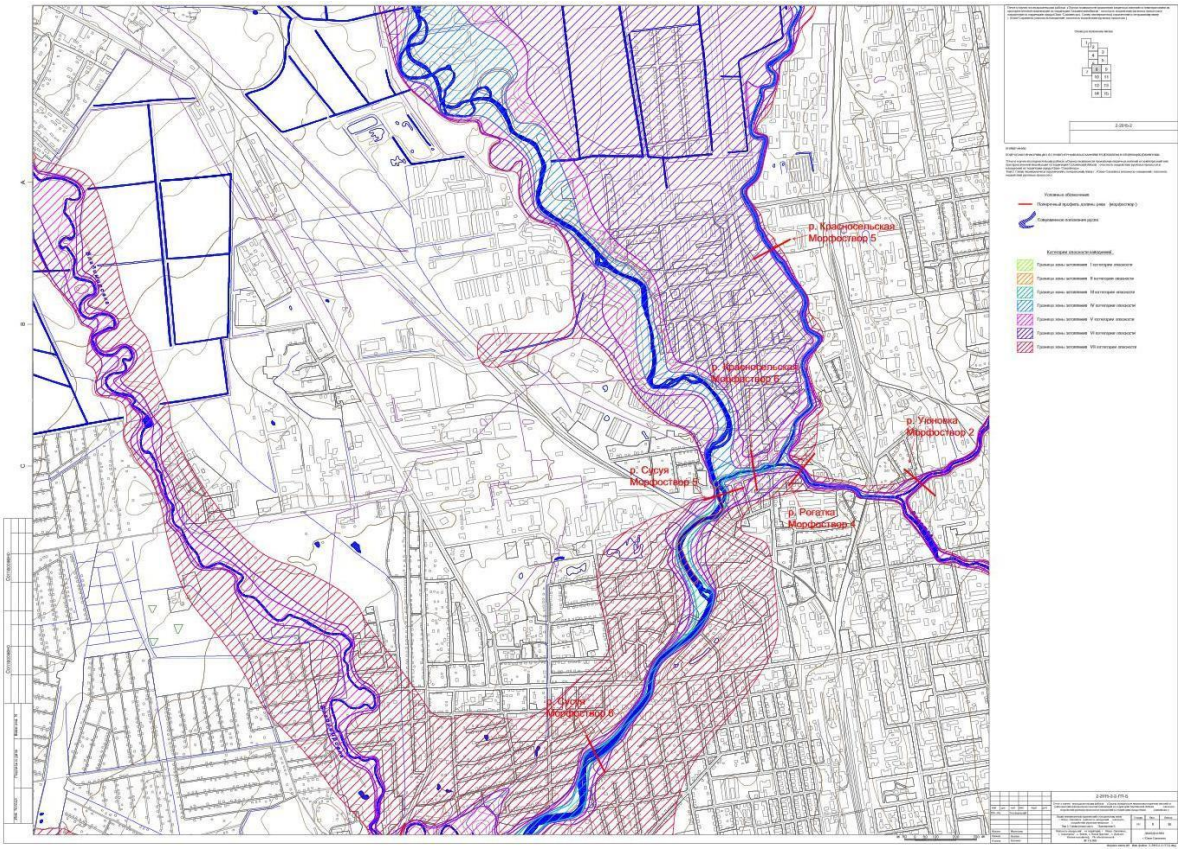


Рис. 1 Пример схемы планировочных ограничений к генеральному плану населенного пункта (опасность наводнений г. Южно-Сахалинск, обеспеченность 1%)

Заключение

«Схемы…» к генеральным планам населенных пунктов Сахалинской области (опасность наводнений и русловых процессов) в масштабе 1:5000 - 1:10000 позволяют разработать меры по защите населения и объектов от наводнений и русловых процессов, а также снизить возможный ущерб от их воздействия, на территорию, объекты и сооружения.

Выделенные на «Схемах…» участки с различными категориями опасности способствуют принятию решений о необходимости первоочередного строительства

сооружений инженерной защиты, а в случае невозможности строительства защиты, выносу объекта за пределы опасной зоны.

Список литературы

Атлас Сахалинской области. М.: Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1967 - 137 с.

Белоногова Н.А., Виноградов А.Ю., Казаков Н.А., Кузьмин Н.А., Минаев А.Н., Никифоровский А.А., Салминен Э.О. Новый подход к оценке гидрологических проектных ограничений при инженерных изысканиях на малых лесных водотоках//«Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии». Вып.216, 2016. С. 124-133.

Болгов М.В., Алексеевский Н.И., Гарцман Б.И., Георгиевский В.Ю., Дугина И.О., Ким В.И., Махинов А.Н., Шалыгин А.Л. Экстремальное наводнение в бассейне Амура в 2013 году: Анализ формирования, оценки, рекомедации.// География и природные ресурсы. №3-Ирк. 2015. с. 17-26.

Генсиоровский Ю.В. Экзогенные геологические процессы и их влияние на территориальное планирование городов (на примере о. Сахалин). Автореф. канд. дисс. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2011 – 19 с.

Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогорье. //Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. № 4 - М.: МАИК, 2007. С. 342 – 347

Мусохранова Л.А., Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А Уязвимость территории населенных пунктов Сахалинской области к воздействию опасных природных процессов и меры, принимаемые для ее защиты.// Градостроительство 3 М.: ОАО ВНИИНТПИ, № 6, 2010 - С.33-39

Ресурсы поверхностных вод СССР, вып.4, т.18, Бассейны рек Сахалина и Курильских островов. Л.: Гидрометиздат, 1973 г.

Development of schemes of planning restrictions to the general plans of settlements as an action to reduce flood damage (on the example of the south of Sakhalin Island)

***Gensiorovskij Ju.V.*[1], Kazakov N.A.[1], Bobrova D.A.[1], Kazakova E.N.[1], Muzychenko A.A.[1], Rybal'chenko S.V.[1], Zhiruev S.P.[2], Pavlov V.S.[1], Muzychenko L.E.[1], Vinogradov A.Yu.[3], Kuchmin A.V.[3]**

[1]*Far East Geological Institute Sakhalin Department FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

[2]*Autonomous Non-Commercial Organization Scientific Research "Centre Geodynamiks", Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

[3]*Gidrotehproekt Research and Development Association, Saint-Petersburg, Russia*

gensiorovskiy@mail.ru

Abstract: The paper considers the factors of flooding of urbanized territories on the Sakhalin island in the event of typhoons and deep cyclones. Measures are proposed to reduce the risks from flooding at the stage of development of town planning documentation.

Keywords: Sakhalin island, flood, settlements, the general plans of cities, anthropogenic factors.

Современные изменения характеристик максимального стока рек Северного Кавказа

***Дурманов И.Н.*[1], Рец Е.П.[2], Киреева М.Б.[1], Сазонов А.А.[1]**
[1]*Географический факультет МГУ, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва*
[2]*Институт Водных Проблем РАН, улица Губкина дом 3, 119333, Москва*
Durmivan@yandex.ru

Аннотация: В конце 70-х начале 80-х годов произошли глобальные климатические изменения, которые привели к деградации ледников. Это вызвало изменение стока рек на Северном Кавказе, оказав, таким образом, влияние на изменение паводковой опасности. Это является серьезной проблемой для региона с частыми катастрофическими наводнениями.

На основе рядов данных с 21 поста бассейна Терека и 23 постов бассейна Кубани были выявлены основные характеристики изменения максимального стока. Для исследования был использован статистический анализ. С 1981 года в бассейне Терека наблюдается в основном снижение максимального стока на 5-50%. В основном оно характерно для высокогорных и предгорных районов. В бассейне Кубани наблюдается увеличение максимальных расходов на 30-45%, характерное для средней части бассейна. В то же время выявлено изменение частоты прохождения максимальных расходов по месяцам. Для восточных рек бассейна Кубани характерно увеличение прохождения максимумов в летние месяцы. В то же время влияние средиземноморских воздушных масс характеризует реки западной части бассейна более частыми осенними и зимними паводками, которые по водности сравнимы, а иногда и превосходят половодье. После 1981 наблюдается увеличение доли весенне-летнего максимального стока, связанного с усиленным таянием ледников и увеличением осадков в летний период. Полученные результаты, а также данные о повышении температуры в регионе делают необходимым уделить большое внимание проблеме наводнений на Северном Кавказе для возможности дальнейшего прогнозирования.

Ключевые слова: максимальный сток, наводнения, изменение климата, горные реки, паводки

Введение

Северный Кавказ характеризуется сложными климатическими условиями, а также высокой паводковой опасностью. За последние десятилетия произошли значительные изменения климата, приведшие к деградации ледников. Это оказало влияние на сток горных рек, в том числе и на максимальный сток. С конца XX время наблюдается увеличение числа опасных наводнений в бассейнах Терека и Кубани. Это временами приводит к значительному материальному ущербу, а также к человеческим жертвам (Базелюк и Лурье, 2008). В результате возникла необходимость анализа изменения максимального стока рек Северного Кавказа, для возможности раннего прогнозирования подобных явлений.

Материалы и методы

В качестве исходных данных для исследования были использованы ряды максимальных расходов для 21 поста бассейна Терека и 23-х постов бассейна Кубани. Оба бассейна характеризуются различными климатическими условиями. Для Терека свойственно половодье летом, в том числе благодаря летнему максимуму осадков. Бассейн Кубани характеризуется большим разнообразием, из-за сильного влияния среднеазиатских сухих воздушных масс с востока и средиземноморских с запада и юга. Поэтому для высокогорной части Кубани характерны максимумы весной-летом, а для

нижней части в зимний период, в результате обильных осадков. Для каждого поста были определены тренды максимальных расходов. Для выявления статистической значимости, тренды были проанализированы с помощью теста Спирмана. В качестве допустимого значения была принята α=0,05. Для тех рек, где тренд оказался статистически незначим, было принято, что тренд отсутствует. Для определения переломного года, начиная с которого идет активное изменение стока, для постов со статистически значимым трендом были построены разностно-интегральные кривые (РИК) максимальных расходов. На их основе в качестве переломного был выбран 1981 год. Также были проанализированы даты прохождения максимальных расходов. На основе рядов дат были построены гистограммы частоты попадания максимумов на разные месяца для каждого поста. Это позволило сделать вывод о генетической составляющей максимальных расходов в разных участках изучаемого региона. Были проанализированы региональные тенденции временных изменений и пространственного распределения анализируемых величин. Для детального анализа были выбраны 4 поста, 2 в бассейне Кубани и 2 в бассейне Терека. Их выбор обусловлен статистически значимыми изменениями максимальных расходов, достаточно продолжительным периодом наблюдений до и после переломного года, а также возможностью объективно показать изменения характеристик максимального стока в разных климатических регионах Северного Кавказа. Статистический анализ и визуализация проводились средствами языка программирования R.

Результаты

На половине рек бассейна Терека наблюдается отрицательный тренд максимальных расходов. Он характерен для высокогорной и предгорной части бассейна. Снижение максимального стока составляет 5-50%. В нижнем течении Терека наблюдается статистическая однородность рядов максимальных расходов воды. Похожая ситуация наблюдается в верхнем и нижнем течении Кубани, где также отсутствуют статистически значимые изменения максимальных расходов. В среднем течении наблюдаются положительные тренды максимальных расходов. Рост составляет 30-45%. Там же на двух постах наблюдается отрицательный тренд.

На Северном Кавказе можно выделить 4 условно однородных с точки зрения формирования стока, относительно крупных подрайона: нижнее течение Кубани, где талый сток не вносит существенную роль, горную часть бассейна Кубани, горную часть бассейна Терека, где талый стоки имеет значительную роль и восточную часть бассейна Терека. На рис. 1 отражены основные характеристики изменения максимального стока для репрезентативных гидрологических постов, соответствующих этим 4 зрения районам. Терек и Цея имеют тенденцию к снижению пиковых значений. Относительное изменение расходов за период до и после 1981 года составило -14% и -39% соответственно. Коэффициент вариации уменьшился в первом случае на 18%, а втором на 54%. Пиковые значения водности после переломного года на Тереке стали чаще проходить в июне, чем в июле, а на Цее увеличилось число максимумов в августе. На реках бассейна Кубани имеет место быть как и положительный тренд (р. Лаба), так и отрицательный (р. Белая). Изменение расходов составило 43% и -11% соответственно. Коэффициент вариации вырос на 103% и 29% соответственно. На Лабе наибольшая частота наступления максимумов сместилась с мая на июнь. Также они проходят в весенние и осенние месяцы. Для реки Белой максимумы до 1981 года наблюдались на протяжении всего года, однако чаще всего выпадали на май-июнь и ноябрь, в котором наблюдалась наибольшая частота их прохождений. После 1981 года максимумы наблюдались не во все месяцы. Больше всего пиковые значения наблюдались в апреле и мае. Немного реже они наблюдались в октябре-декабре.

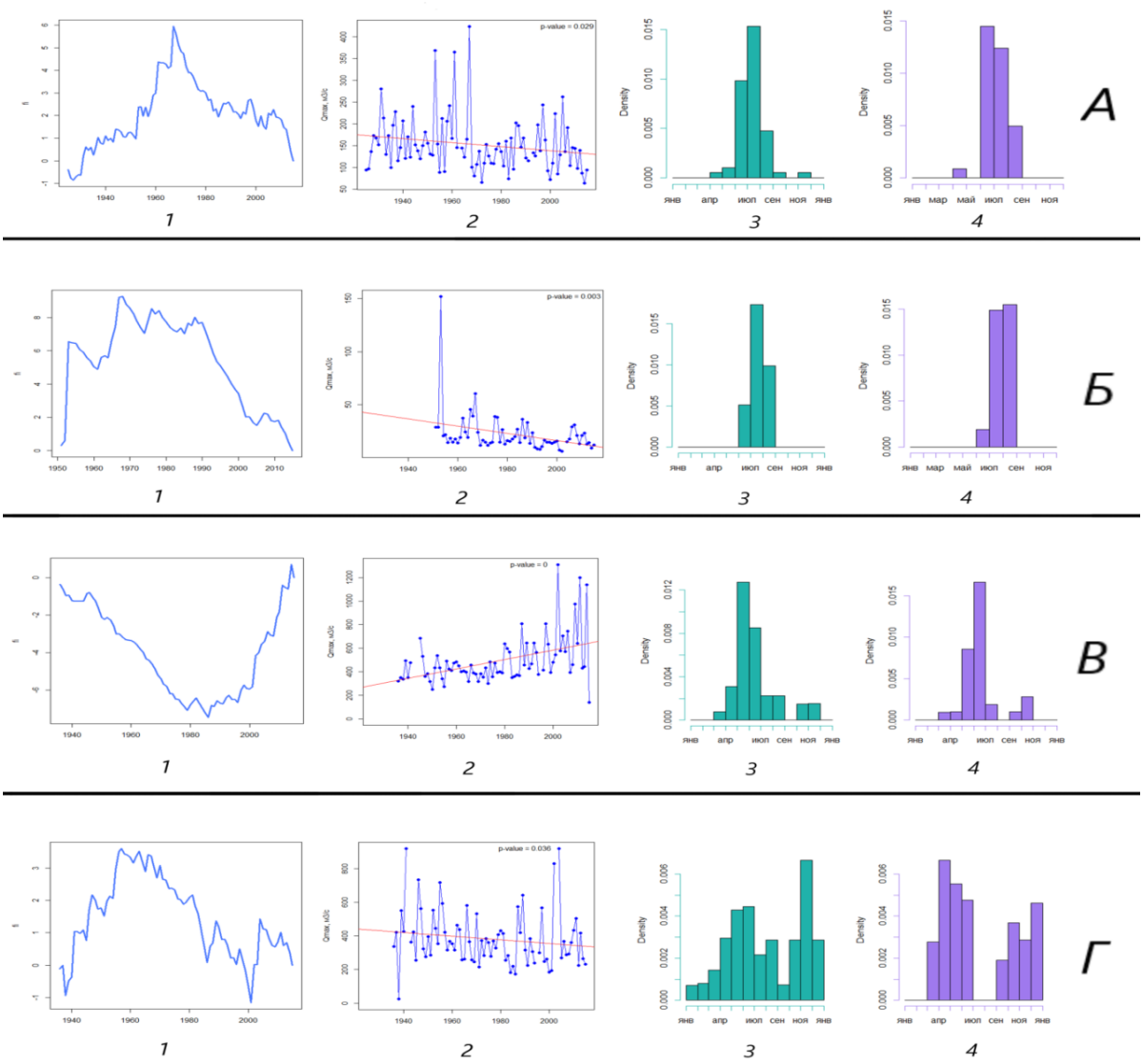


Рис. 1 1 – РИК максимальных расходов, 2 – ход максимальных расходов, 3- Частота наступления дат максимальных расходов до 1981 года, 4 – Частота наступления дат максимальных расходов после 1981 года. Посты: А – р. Терек – г. Владикавказ, Б – р. Цея – пгт Бурон, В – р. Лаба – х. Догужиев, Г – р. Белая – пгт Каменномостский.

Выводы

Проведенный анализ максимального стока для бассейна Терека и Кубани показал характер его изменения в современный период. Для бассейна Терека характерно снижение максимального стока. Максимумы на Цее и Тереке проходят в летнее время, что говорит о преобладающем влиянии ледников на максимальный сток в бассейне Терека. Также здесь играют роль пиковые значения осадков летом. В бассейне Кубани характерно повышение значений максимальных расходов. Питание рек смешанное, сказывается воздействие средиземноморских воздушных масс из-за близости к Черному морю. У Лабы это проявляется в меньшей степени из-за более отдаленного от моря истока. Максимумы чаще проходят весной-летом из-за таяния ледников и летних дождей. Река Белая характеризуется смешанным питанием. До 1981 года преобладали максимумы стока в ноябре, однако после переломного года максимумы стали чаще проходить весной. Это может являться следствием активного таяния ледников, которое способствовало увеличению весенне-летнего стока. Однако при этом сохраняется достаточно высокая

частота прохождений максимальных расходов в октябре-декабре из-за осенне-зимних осадков, проявляющихся из-за близости к Черному морю.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о значительных изменениях максимального стока в конце 70-х начале 80-х годов прошлого века. Рост температуры в летний период, а также деградация ледников способствовали увеличению числа опасных наводнений в конце XX –начале XXI веков, которые привели к человеческим жертвам и большому материальному ущербу. Поэтому для предотвращения последствий катастрофических стихийных бедствий необходимо и дальше проводить исследования по выявлению всех причин экстремальных наводнений на Северном Кавказе.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 17-77-10169.

Список литературы

Базелюк А.А., Лурье П.М. Проблемы наводнений на юге России: Причины возникновения и оценка последствий // ЭКВАТЭК 2008: Управление водно-ресурсными системами в экстремальных условиях. Международная выставка и конгресс. Москва, 4–5 июня 2008 г.

Changes in modern maximum river runoff in North Caucasus

***Durmanov I.N.*[1], *Rets E.P.*[2], *Kireeva M.B.*[1], *Sazonov A.A.*[1]**

[1]*Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

[2]*Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Gubkina 3, Moscow 119333, Russia*

durmivan@yandex.ru

Abstract: In the late 1970-s and early 1980-s, global climatic changes took place that led to the degradation of glaciers. This caused a change in the flow of rivers in the North Caucasus, thus influencing the change in the flood hazard. This is a serious problem for the region with frequent catastrophic floods.

Based on the series of data from the 21 posts of the Terek basin and 23 posts of the Kuban basin, the main characteristics of the change in maximum runoff were revealed. Statistical analysis was used for the study. Since 1981, in the Terek Basin, there has been a general decrease in the maximum runoff by 5-50%. It is mainly characteristic of high-mountainous and foothill areas. In the basin of the Kuban there is an increase in the maximum expenditure by 30-45%, typical for the middle part of the basin. At the same time, a change in the frequency of the passage of the maximum expenditure by months has been revealed. The eastern rivers of the Kuban basin are characterized by an increase in the passage of highs in the summer months. At the same time, the influence of the Mediterranean air masses characterizes the rivers of the western part of the basin with more frequent autumn and winter floods, which are comparable in water content and sometimes, exceed the flood. After 1981, an increase in the share of spring-summer maximum runoff associated with increased melting of glaciers and an increase in precipitation in summer is observed. The results obtained, as well as data on the temperature increase in the region make it necessary to pay much attention to the flood problem in the North Caucasus for the possibility of further forecasting.

Keywords: maximum river runoff, flood hazards, climate change, mountain rivers, floods

Особенности формирования маловодных периодов в бассейне реки Дон (на примере маловодья 2007-2015 гг.)

***Илич В.П.*, Киреева М.Б., Сазонов А.А., Михайлюкова П.Г., Харламов М.А.**
Московский Государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва
vladilich4@mail.ru

Аннотация: Бассейн реки Дон – это одна из наиболее освоенных территорий нашей страны. В то же время, реки являются одним из основных источников воды для населения, поэтому маловодные периоды наносят значительный ущерб региону. Основной целью данной работы являлось комплексное исследование периодов пониженной водности. В первой части исследования были проанализированы ряды годового стока за последние 80 лет, и показано, что наиболее значимыми являлись маловодья середины 70-ых, начала 90-ых годов прошлого века, а также отрезок 2007-2015 годов. При этом последний из указанных периодов является рекордным по продолжительности. Для выявления причин маловодья 2007-2015 годов анализировались данные по антропогенному влиянию на сток рек и данные реанализа, показывающие климатические изменения. В результате, удалось выявить, что вклад антропогенных факторов незначителен, и ведущей причиной снижения водности является уменьшение величины климатического стока за теплый период. Для исследования пространственно-временной неоднородности снижения водности за различные периоды была создана серия карт обеспеченностей объемов стока. В данной части использовались данные наблюдений на 14 наиболее репрезентативных постах, расположенных как на самом Доне, так и на крупнейших его притоках. По серии карт удалось выявить отсутствие маловодья в верховьях бассейна, чередование лет относительно повышенной и пониженной водности за период низкого стока, а также внутригодовое перераспределение стока: увеличение объемов зимней межени и снижение расходов половодья. Значительно влияние маловодья на водные экосистемы бассейна Дона. Оно привело к увеличению концентрации фитопланктона в главной реке на порядок. Это повело за собой ухудшение качества воды до эвтрофного. Кроме того, наблюдается значительное снижение воспроизводящей способности рыбных сообществ.

Ключевые слова: Бассейн реки Дон, маловодье, пространственно-временное распределение стока, причины дефицита воды, водные экосистемы

Введение

Бассейн реки Дон занимает площадь 422 тыс. км^2, на которой в настоящий момент проживает около 29 млн. человек. Река и ее притоки являются основными источниками воды для населения. Также Дон издревле славился своим биоразнообразием и численностью организмов, образующих его водные и пойменные экосистемы. Однако, начиная с 50-ых годов прошлого века растущие потребности населения стали приводить к резкому увеличению влияния антропогенных факторов на гидрологический режим рек исследуемого бассейна. Так И.А.Шикломанов отмечал (Шикломанов, 1979), что в 1975 году безвозвратное водопотребление составляло 8-10 км^3/год, что приблизительно равняется трети годового стока Дона в устьевом створе. Согласно большинству исследований советского периода, к началу XXI века объемы водопотребления должны были увеличиться вдвое. Однако, значительные политические, экономические и социальные изменения, затронувшие нашу страну, привели к снижению роста водохозяйственной деятельности. Другим весомым фактором, оказывающим влияние на гидрологический режим рек всего мира, является климат. Именно с его изменениями связывают рост частоты возникновений таких экстремальных явлений, как наводнения и маловодья.

Основной целью данного исследования является всесторонний анализ маловодий в бассейне реки Дон, особенно рекордного по продолжительности маловодного периода 2007-2015 гг. Для достижения этой цели решались следующие задачи: знакомство с современной литературой, касающейся оценки вклада природного и антропогенного факторов в режим речного стока, анализ исторических маловодных периодов, наблюдавшихся в последние 70-80 лет на данной территории, изучение пространственно-временного распределения характеристик последнего маловодного периода, оценка вклада климатических и антропогенных факторов в низкие значения стока этих лет и, наконец, оценка влияния маловодья не водные экосистемы.

Общий анализ маловодий в бассейне Дона XX-XXI века

Для первичного анализа маловодий в бассейне Дона использовался подход приведения рядов годового стока к бинарному виду: в случае, если сток за определенный год был ниже порогового, то ему присваивалось значение «1», если нет – «0». Пороговое значение в данной же работе определялось лишь приблизительно (P = 83-87 %), не менее важным критерием являлась водность соседних лет. Так в случае, если их обеспеченность была в районе 55-65 %, то к маловодному мог быть отнесен год с вероятностью превышения стока 75-77 %. Для анализа было отобрано 14 репрезентативных постов (5 на Дону и 9 на притоках). Для них были построены аналитические кривые обеспеченности годового стока по водохозяйственным годам, определены все маловодные годы и периоды, рассчитан дефицит воды маловодий как отношение разницы среднего стока за период маловодья и стока 50%-ой обеспеченности к стоку 50%-ой обеспеченности. Для визуализации полученных результатов была написана программа, автоматизирующая процесс построения графика (Рис. 1).

На графике заметно, что наиболее экстремальным было маловодье, длящееся на различных реках с 1971 по 1977 год. Основным отличием этого периода является его широкое распространение: в той или иной степени для всех постов были характерны низкие значения стока. Весьма значительным по объемам недополученного стока, но коротким (всего 2 года) было маловодье 1949-1951 годов. В верховьях бассейна наибольшую длительность имел маловодный период 1987-1993 годов. Обратной можно назвать ситуацию, сложившуюся в исследуемом бассейне в настоящее время. Началом маловодного периода условно можно назвать 2007 год. При этом для самых верховьев характерна фаза повышенной водности с обеспеченностями, периодически снижающимися до 5-10 %. А вот начиная со створа Лиски и ниже, на протяжении уже более 8 лет имеется значительный дефицит воды. Ситуация обостряется тем, что в южной части водосбора доля возделываемых сельскохозяйственных земель выше, количество осадков меньше и, следовательно, потребности в воде более значительны. Еще один немаловажный фактор – большая роль судоходства вблизи устья главной реки. Исходя из описанных выше причин, именно последний период пониженной водности был выбран для более детального изучения.

Анализ пространственно-временной структуры маловодья

Весьма важной характеристикой маловодья является его пространственно-временная структура. Ее анализ было решено провести по значениям обеспеченности стока для 5 различных временных интервалов: водохозяйственных лет, лимитирующих и нелимитирующих периодов, а также зимы и лета. Построение кривых обеспеченности и определение по ним требуемых значений проводилось для тех же гидрологических створов, что и при обзоре маловодий в бассейне Дона. По полученным значениям обеспеченностей стока была построена серия карт. Карты наглядно демонстрируют чередование лет относительно высокой и относительно низкой водности. К сожалению, отсутствие в свободном доступе информации по стоку не позволяет полностью оценить

ситуацию, сложившуюся в бассейне в последние годы. Тем не менее, судя по 4 створам, для которых данные имелись, тенденция чередования лет разной водности несколько нарушилась. Другой любопытной особенностью маловодья 2007-2015 годов является колебание «в противофазе» обеспеченностей годового стока на реке Чир и соседних водотоках. По картам за зимний и весенний период было установлено внутрисезнное перераспределение стока, характеризующееся увеличением водности зимних меженных периодов и снижением водности половодий.

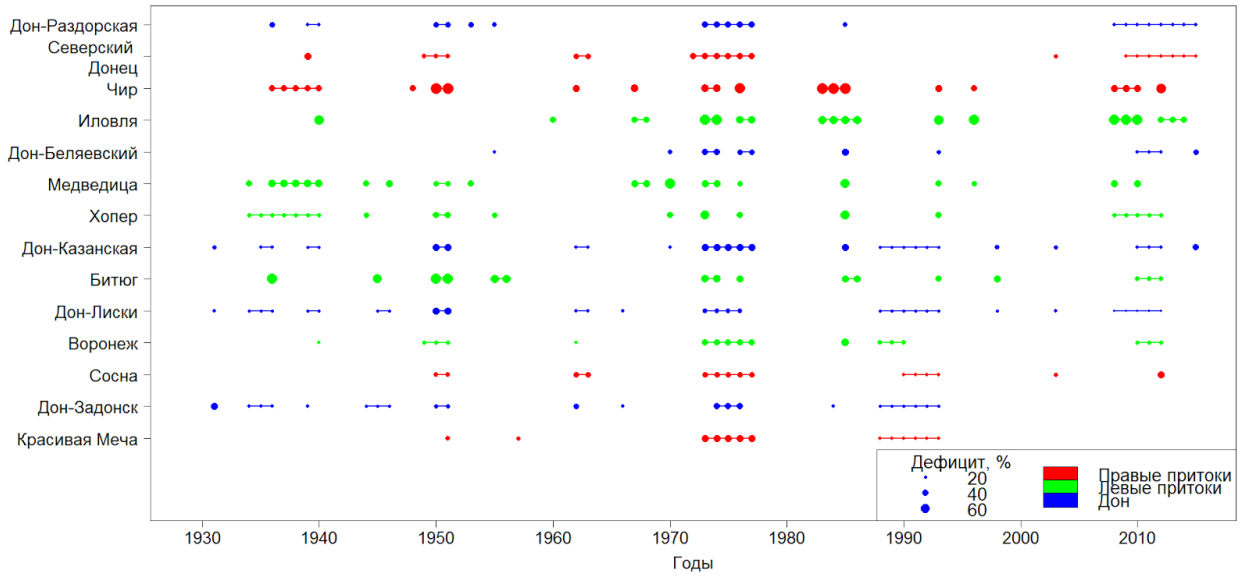


Рис. 1 Пространственно-временное распределение маловодий и их интенсивность в бассейне Дона в XX-XXI веке (расположение створов снизу вверх соответствует их расположению от верховьев бассейна к низовьям)

Вклад природных и антропогенных факторов в формирование маловодья 2007-2015

Для выявления причин маловодья использовались различные подходы. Основным из них было получение более детальной информации об изменениях типов подстилающей поверхности на водосборе при помощи ДДЗ. Методика отрабатывалась на бассейне реки Хопер с замыкающим створом с. Пановка (F=982 км^2). Основные же исследование были проведены для бассейна реки Хопер с замыкающим створом в г. Новохоперск (F= 35046 км^2). Данный выбор был обусловлен наличием информации в ежегодных изданиях «Государственного Водного кадастра» о водозаборах и их суммарном влиянии на сток реки Хопер выше этого поста. Анализ ДДЗ выполнялся для 4 годов: 1985, 1998, 2007 и 2014. В результате оказалось, что для данной территории характерно увеличение площади лесов (за 20 лет она выросла с 10,0 % до 15,2 %) и незначительный рост антропогенных застроек. Наиболее любопытна ситуация с площадью водных объектов, рост которой 80-90-ые годы сменился спадом в начале 2000-ых. Площадь же водной поверхности с 2007 по 2014 и вовсе уменьшилась почти вдвое (с 0,90 до 0,49 %). Анализ подготовленных материалов позволил установить несколько закономерностей формирования стока реки Хопер выше г.Новохперск. Непосредственный водозабор из речной сети не играет роли в формировании дефицита воды (его величина не превышает 0,8 % годового стока). При этом не стоит недооценивать влияние хозяйственной деятельности на водность рек. Расчеты показали, что потери на испарение с водной поверхности прудов и водохранилищ на момент начала маловодья 2007-2015 годов составляли около 4-5 % от годового стока, а

в начале 90-ых годов прошлого века достигали 13 %. К росту потерь воды через транспирацию приводит увеличение залесенности водосбора. Основой для оценки вклада климатических аномалий в формирование маловодья являлся реанализ ERA INTERIM. В первую очередь использовались средние значения месячных сумм осадков и сезонные температуры, а также показатель климатического стока (P-E), отражающий осадки за вычетом испарения. Для анализа показателей применялись карты, построенные при помощи метода изолиний. Анализ карт показал, что для исследуемой территории характерна значительная временная неоднородность перечисленных выше характеристик. При этом их корреляция с речным стоком крайне низкая.

Анализ экологических последствий маловодья

Оценка влияния маловодного периода не водные экосистемы Дона является ключевым аспектом с точки зрения понимания экологических проблем, к которым столь длительные фазы низкой водности могут привести. Ввиду отсутствия значительного количества гидробиологической информации было принято решение анализировать изменения, коснувшиеся популяций фитопланктона и ихтиофауны. Другой причиной выбора именно этих организмов является то, что представители данных групп являются крайними звеньями пищевой цепи, и по ним можно дать интегральную оценку влияния маловодного периода на экосистемы. Анализ концентрации фитопланктона проводился по пробам, отобранным за 2004-2015 годы. Была выявлена тесная обратная зависимость между расходами воды и концентрацией фитопланктона. Так в многоводные 2004-2006 годы среднее значение этого показателя равнялось 0,83 мг/л, что соответствовало олиготрофному состоянию экосистем согласно классификации И.С.Трифоновой (Трифонова, 1990). Средняя же концентрация за маловодье составила 9,23 мг/л. Состояние речных экосистем согласно все той же классификации стало эвтрофным, что не могло негативно не отразиться на экологической обстановке. Изучение состояния ихтиофауны проводилось по данным о выловах молоди рыб в Цимлянском водохранилище. За основной фактор, определяющий воспроизводящую способность рыбных сообществ, были приняты уровни воды за месяцы нереста. Была обнаружена прямая зависимость между уровнями и суммарным числом сеголетков всех видов рыб. Это стало причиной того, что для маловодного периода характерна тенденция к снижению численности молоди рыб.

Заключение

В данной работе был проведен комплексный анализ маловодного периода 2007-2015 годов в бассейне реки Дон. Для сбора и анализа информации применялись такие разнообразные методы, как дешифрирование космических снимков, реанализ, программирование, гидрологические расчеты и некоторые другие. Исследованное маловодье является одним из наиболее продолжительных и дефицитных по объемам стока за последние 70-80 лет. Его причиной является взаимодействие природных и антропогенных факторов. В то же время сложность и изменчивость условий формирования стока делает необходимыми дальнейшие исследования данного вопроса, с целью количественных уточнений полученных оценок. Схожими видятся предпосылки значительной пространственно-временной неоднородности маловодья. В то же время, с уверенностью можно сказать, что именно климатический фактор – причина внутригодового перераспределения стока. Негативное влияние группы лет пониженной водности на экологию водных систем бассейна Дона говорит о необходимости привлечения большего внимания общественности к сложившейся ситуации и принятии ряда мер по предотвращению серьезных последствий.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-2331.2017.5.

Список литературы

Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. JL: Наука, 1990. 179 с.
Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек. Ленинград: Гидрометиздат, 1979

The features of droughts formation in the Don River Basin (the case of drought in 2007-2015)

***Ilich V.P.*, Kireeva M.B., Sazonov A.A., Mikhailukova P.G., Kharlamov M.A.**
Lomonosov Moscow State University, Moscow
vladilich4@mail.ru

Abstract: The Don River Basin is located in the south of the European part of Russia and covers an area of 422,000 km^2, with more than 29 million inhabitants. The Don and its tributaries are the main source of fresh water for population and industry needs. This research was devoted to extreme low flow period in Don River basin, which takes place from 2007 till now. The main goal of the study is complex analysis of this hazard and their influence on the river system.

The basic task is the assessment of the anthropogenic and natural input in process of extreme low flow formation. The data of reanalysis and remote sensing are used in the part of study. The research are shown that climatic changes are the main reason of so severity drought.

The second important task was evaluation of spatial-temporal flow distribution during the drought period. Revealing the parts of the basin that give major contribution in the process of the drought formation can help redistribute human activity more effectively. A range of 45 maps were made by R programming language. It was shown that there are an increasing of flow probability from Upper Don to the downstream. The alternation of the years with relatively high and low water content was observed during the drought too. In the same time, the role of spring flood is reduced, at the same time the mean water flow during winter is increased.

The drought greatly affected on the river ecosystems. There is dramatic rise of phytoplankton concentration during this water scarcity period. The class of water quality transfer from oligotrophic in 2004-2006 to eutrophic in last years. The drought influence on fish fauna is ambiguous. For the most species reduce of reproducing ability was distinctive.

Keywords: The Don River Basin, drought, spatial-temporal flow distribution, reasons for lack of water, water ecosystems

Сели в Аршане 28.07.2014 г.: масштаб и повторяемость

Казаков Н.А.[1], Виноградов А.Ю.[2], Виноградова Т.А.[3], Генсиоровский Ю.В.[1], Казакова Е.Н.[1], Музыченко А.А.[1], Рыбальченко С.В.[1], Жируев С.П.[4]

[1]*ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал, г. Южно-Сахалинск*

[2]*НПО Гидротехпроект, г. Санкт-Петербург*

[3]*ФГБОУ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

[4]*НИЦ "Геодинамика", г. Южно-Сахалинск*

kazakovna@fegi.ru

Аннотация: 28 июня 2014 года произошло массовое формирование селей в хр. Тункинские Гольцы (Саяны, п. Аршан, Бурятия). В результате полевых исследований, проведённых авторами статьи 8-9 сентября 2016 г., было установлено, что повторяемость крупных грязекаменных селей в Тункинских Гольцах гораздо выше, чем принято считать: можно с уверенностью говорить о том, что после 1971 г. по крайней мере во II каре наблюдалось два случая формирования грязекаменных селей большого объёма: в 1980-е годы и в 1990 – 1996 г.г. Рассчитанная по величине гидродинамического напора скорость селя в зоне аккумуляции селевых отложений в селевом бассейне «II кар» при уклонах 4-5° составляла от 3,1 м/с до 7,6 м/с при глубине потока до 2,0 м. Объём селевых выносов с учётом объёма крупнообломочного материала, отложившегося в конусе выноса и в зоне транзита селя, объёма тонкодисперсного материала, вынесенного селевым паводком за границы селевого конуса выноса, и объёма водной составляющей составил во II каре – не менее, чем в 2 млн. м^3, в III каре – не менее, чем в 4 млн. м^3. Все сели в Тункинских Гольцах 28.06.2014 г. были грязекаменными: в том числе и сель, прошедший по р. Кынгарга. Грязекаменные сели проходили по р. Кынгарга неоднократно: на левом борту долины р. Кынгарга на территории п. Аршан хорошо читается старый селевой вал высотой до 8 - 10 м

Ключевые слова: грязекаменный сель, селевой вал, Тункинские Гольцы

Введение

28 июня 2014 года произошло массовое формирование селей в хр. Тункинские Гольцы восточном склоне Саяна в районе с. Аршан (Бурятия).

Сели описаны многими исследователями (Лапердин, Качура, 2014; Лехатинов, Лехатинова, 2014; Макаров, Черкашина, 2014; Макаров и др., 2014), однако некоторые вопросы, возникающие при оценке характеристик селей, количества селевых бассейнов, в которых они сформировались, а также их повторяемости в Тункинских Гольцах остаются не освещёнными.

Методы исследования

Все рассматриваемые в настоящей статье ВСП были описаны при полевых исследований, проведённых авторами статьи 8-9 сентября 2016 г.

Повторяемость селей в селевом бассейне была восстановлена по результатам описания обнажений горных пород в бортах селевого русла, исследования возраста вторичного берёзового леса, выросшего на селевых отложениях, и по выделению разных генераций селевых отложений.

Структурно-реологические типы селей определялись по составу селевых отложений и содержанию в них мелкозёма, выпавшего из селевой суспензии. Глубина селя определялась по высоте заплесков на бортах селевого русла и по селевым обмазкам на древесных стволах.

Скорость селя в зоне аккумуляции селевых отложений в селевом бассейне «II кар» рассчитана по селевым обмазкам на древесных стволах через величину гидродинамического напора по формуле (Руководство селестоковым постам, 1990):

$$U = \sqrt{2g\Delta h / \alpha} \quad (1),$$

где $_{\Delta}$**h** - разность между отметками следов уровня (обмазки) в лобовой и тыловой части дерева (скоростной напор), м; **α** - коэфф., зависящий от свойств селевой массы (в среднем, 0,55)

Результаты

В результате исследований было установлено, что формирование селей 28.08.2014 г. носило массовый характер. Сели формировались как к северу, так и к югу от р. Кынгарга (Рис. 1а).

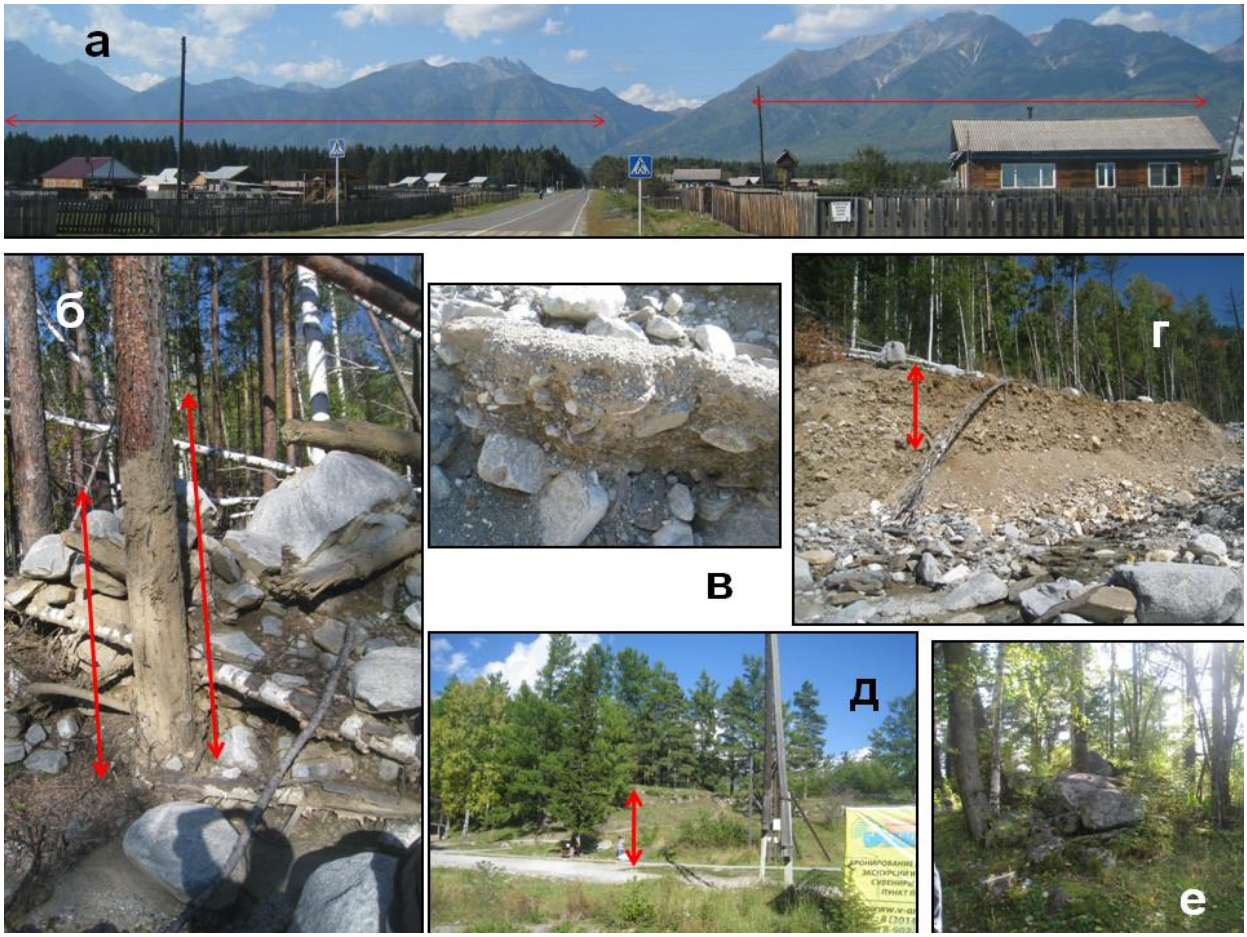


Рис. 1 Грязекаменные сели в хр. Тункинские Гольцы 28.08.2014 г. а – селевые русла 28.08.2014 г. читаются и к востоку, и к западу от р. Кынгарга; б – селевые обмазки на древесном стволе (II кар); в – сцементированные селевые отложения: мелкозём селевой суспензии (II кар); г – берёзово-сосновый лес возрастом 20-25 лет, выросший на пачке селевых отложений возрастом 25 – 30 лет(II кар); д, е – старый селевой вал на левом берегу р. Кынгарга.

Все сели были грязекаменными (Рис. 1б, в). Невозможно согласиться с мнением исследователей (Лапердин, Качура, 2014; Лехатинов, Лехатинова, 2014; Макаров, Черкашина, 2014; Макаров и др., 2014), считающих, что сель, прошедший по р. Кынгарга, был водокаменным: этот сель, также, был грязекаменным, что хорошо подтверждается составом селевых отложений.

На левом борту долины р. Кынгарга на территории п. Аршан хорошо читается старый селевой вал высотой до 8 - 10 м (Рис. 1д, е).

Во II каре ширина зоны селевых отложений составляла 160-200 м при толщине отложений до 2,0-4,5 м.

Глубина селя в нижней части зоны аккумуляции селевых отложений, определённая по высоте заплесков на бортах селевого русла и по селевым обмазкам на древесных стволах (Рис. 1б), составляла от 1,1 м до 2,0 м.

Объём селевых выносов с учётом объёма крупнообломочного материала, отложившегося в конусе выноса и в зоне транзита селя, объёма тонкодисперсного материала, вынесенного селевым паводком за границы селевого конуса выноса, и объёма водной составляющей селя (Сейнова, Казаков, 2015) оценён нами во II каре – не менее, чем в 2 млн. м^3, в III каре – не менее, чем в 4 млн. м^3. Эта оценка вполне согласуется с мнением В.К. Лапердина (Лапердин, Качура, 2014).

Величина скоростного напора составила от 0,15 м до 0,9 м. Скорость селя в зоне аккумуляции селевых отложений в селевом бассейне «II кар» при уклонах 4-5°, рассчитанная во величине скоростного напора (1), составляла от 3,1 м/с до 7,6 м/с.

В результате полевых работ была обнаружена вскрытая толща селевых отложений на правом борту селевого бассейна «II кар» (Рис. 1г), поросшая берёзово-сосновым лесом возрастом 20-25 лет. Возраст селевых отложений составил, ориентировочно, 25 – 30 лет. Таким образом, можно утверждать, что грязекаменный сель объёмом в несколько сотен тысяч м^3 сошёл во II каре в середине 90-х годов XX столетия (ориентировочно, в 1990 – 1996 г.г.).

На левом борту селевого бассейна (II кар) отмечены поросшие зрелым хвойным лесом селевые отложения возрастом около 40 лет (ориентировочно, в 1980-е годы).

На левом борту селевого бассейна (II кар) отмечены поросшие зрелым лесом селевые отложения возрастом около 40 лет. Таким образом, повторяемость крупных грязекаменных селей в в Тункинских Гольцах гораздо выше, чем принято считать.

Таким образом, повторяемость крупных грязекаменных селей в в Тункинских Гольцах гораздо выше, чем принято считать: можно с уверенностью говорить о том, что после 1971 г. по крайней мере во II каре наблюдалось два случая формирования грязекаменных селей большого объёма.

Необходимо отметить следующий важный факт. При исследовании условий образования селей использовались данные гидрометеорологических станций (ГМС), расположенных в близи от участков формирования селей (Генсиоровский Ю.В., Казаков, 2014). Однако ГМС расположены в днищах котловин, в абсолютных отметках 700-800 м. Высота водосборных площадей селевых бассейнов составляет 1800 – 2300 м. Вертикальный градиент осадков в горах может составлять от 40 до 200 мм на 100 м высоты (Казаков, Генсиоровский, 2007). Таким образом, суточные суммы осадков, зарегистрированные на ГМС, не отражают реального их количества в селевых очагах.

Обсуждение результатов

По утверждению исследователей (Лапердин, Качура, 2014; Макаров, Черкашина, 2014; Макаров и др., 2014) последние крупные сели формировались в Тункинских Гольцах в районе поселка Аршан в 1971 году. Только в работе (Лехатинов, Лехатинова, 2014) приводится случай формирования здесь селей в 2001 г.

Полевые исследования, проведённые нами в сентябре 2016 г. показали, что по крайней мере в 1990 – 1996 г.г. произошло формирование грязекаменного селя объёмом в несколько сотен тысяч м^3 во II каре. На левом борту селевого бассейна (II кар) отмечены поросшие зрелым лесом селевые отложения возрастом около 40 лет. Таким образом, повторяемость крупных грязекаменных селей в в Тункинских Гольцах гораздо выше, чем принято считать: можно с уверенностью говорить о том, что после 1971 г. по крайней

мере во II каре наблюдалось два случая формирования грязекаменных селей большого объёма: в 1980-е годы и в 1990 – 1996 г.г.

Нельзя согласиться с утверждением исследователей (Лапердин, Качура, 2014; Лехатинов, Лехатинова, 2014; Макаров, Черкашина, 2014; Макаров и др., 2014) о том, что 28 июня 2014 г. по р. Кынгарга начал прошёл водокаменный сель или селевой паводок: анализ селевых отложений показывает, что сель был грязекаменным.

Выводы

Повторяемость крупных грязекаменных селей в Тункинских Гольцах гораздо выше, чем принято считать: можно с уверенностью говорить о том, что после 1971 г. по крайней мере во II каре наблюдалось два случая формирования грязекаменных селей большого объёма: в 1980-е годы и в 1990 – 1996 г.г.

Рассчитанная по величине гидродинамического напора скорость селя в зоне аккумуляции селевых отложений в селевом бассейне «II кар» при уклонах 4-5° составляла от 3,1 м/с до 7,6 м/с при глубине потока до 2,0 м.

Объём селевых выносов с учётом объёма крупнообломочного материала, отложившегося в конусе выноса и в зоне транзита селя, объёма тонкодисперсного материала, вынесенного селевым паводком за границы селевого конуса выноса, и объёма водной составляющей составил во II каре – не менее, чем в 2 млн. $м^3$, в III каре – не менее, чем в 4 млн. $м^3$.

Все сели в Тункинских Гольцах 28.06.2014 г. были грязекаменными: в том числе и сель, прошедший по р. Кынгарга. Грязекаменные сели проходили по р. Кынгарга неоднократно: на левом борту долины р. Кынгарга на территории п. Аршан хорошо читается старый селевой вал высотой до 8 - 10 м.

Список литературы

Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А., Жируев С.П., Павлов В.С. Влияние гидрометеорологических факторов на массовое селеобразование в горных районах Восточной Сибири. //Сборник трудов III Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», Южно-Сахалинск: ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2014. С. 247-249.

Зонов Б.В. Материалы к характеристике селевых паводков в районе курорта Аршан в июле 1962 г. (по данным визуальных наблюдений). – Иркут. гос. ун-т им. А.А. Жданова, каф. физ. географии, декабрь 1962 г. – 32 с. (Фонды Иркутского УГМС).

Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогорье. //Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. № 4, 2007. С. 342 – 347.

Лапердин В.К., Качура Р.А. Прогностические предпосылки наступления селевой катастрофы в Южном Прибайкалье. //Сборник трудов III Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», Южно-Сахалинск: ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2014. С. 78-81.

Лехатинов А.М., Лехатинова Э.Б. Селевая опасность территории автотуристического кла- стера «Тункинская долина». //Сборник трудов III Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», Южно-Сахалинск: ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2014. С. 82-87.

Макаров С. А., Черкашина А.А., Атутова Ж. В., Бардаш А. В., Воропай Н. Н., Кичигина Н.В.,

Мутин Б. Ф., Осипова О. П., Ухова Н.Н. Катастрофические селевые потоки, произошедшие в поселке Аршан Тункинского района Республики Бурятия 28 июня 2014 г. Иркутск, ИГ СО РАН, 2014 - 111 с.

Макаров С.А., Черкашина А.А. Катастрофические селевые потоки в поселке Аршан Тункинского района республики Бурятия, 28 июня 2014 г. //Сборник трудов III Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», Южно-Сахалинск: ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2014. С. 88-91.

Сейнова И.Б., Казаков Н.А. К вопросу об определении объема селя. //Геориск. № 3, 2015. С. 12-14.

Руководство селестоковым постам и гидрографическим партиям. РД 52.30.238-90. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей – М.: Гидрометеоиздат, 1990. – 198 с.

Debris flows in Arshan 28.07.2014: scale and repeatability

***Kazakov N.A.*[1], *Vinogradov A.Yu.*[2], *Vinogradova T. A.*[3], *Gensiorovskiy Yu. V.*[1], *Kazakova E. N.*[1], *MuzychenkoA. A.*[1], *Rybalchenko S. V.*[1], *Zhiruyev S. P.*[4]**

[1]*Sakhalin Branche of Far East Geological Institute FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

[2]*RPA Gidrotekhproekt, St. Petersburg, Russia*

[3]*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

[4] *Research Center "Geodynamics", Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

kazakovna@fegi.ru

Abstract: June 28, 2014 there was a mass formation of Debris-flows in the Tunkinskie Goltsy (Sayan, p. Arshan, Buryatia). As a result of field research conducted by the authors on September 8-9 2016, it was found that the frequency of occurrence of large Debris-flows in Tunkinskie Goltsy is much higher than is commonly believed: it is safe to say that after 1971, at least in the second caret was observed two cases of formation of Debris-flows of large volume in 1980-ies and 1990 – 1996 Calculated according to the magnitude of the hydrodynamic pressure of the speed of the Debris-flows in the zone of accumulation of debris-flow deposits in the basin seleva "II cirque" in grades 4-5° ranged from 3.1 m/s to 7.6 m/s at a flow depth up to 2.0 m. The volume of Debris-flows offsets based on the volume of coarse material deposited in the cone of and in the transit zone of the Debris-flows, amount of fine material removed debris flood debris flow beyond the boundaries of the cone of the removal, and total water component was in the II cirque – no less than 2 million m^3 in the III cirque no less than 4 million m^3. All got in Tunkinskie Goltsy 28.06.2014 was the formation of debris-flows: including agricultural, held on the Kyngarga River. Debris-flows passed along the Kyngarga River repeatedly: on the left side of the valley of the Kyngarga River on the territory of Arshan well read old Debris-flow bank up to 8-10 m

Keywords: Debris-flow, Debris-flow bank, Tunkinskie Goltsy

Моделирование прорывов горных озер и селевых потоков в Горно-Бадахшанской автономной области, Таджикистан

Кидяева В.М.*[1], Черноморец С.С.[1], Савернюк Е.А.[1], Крыленко И.Н.[1], Докукин М.Д.[2], Висхаджиева К.С.[1], Бобов Р.А.[3], Пирмамадов У.Р.[3], Мародасейнов Ф.О.[3], Раимбеков Ю.Х.[3], Курбонмамадов Д.А.[3]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, [2]ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, Россия

[3]Международная организация Фокус Гуманитарная помощь, Таджикистан

veramkid@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрены результаты моделирования прорывных паводков и селей, в том числе непрорывного генезиса, в долине р. Гунт и семи долинах-притоках. Для каждой выбранной долины были предложены сценарии возникновения опасных процессов, их триггеры, рассчитаны объемы потоков, максимальные расходы, формы гидрографов, а также оценена вероятность их возникновения (высокая, средняя или низкая). Для долин была адаптирована двумерная модель движения водных и селевых потоков FLO-2D PRO с использованием цифровой модели рельефа ALOS PALSAR (разрешение 12,5 м), данных дистанционного зондирования Земли и полевых материалов. Выполнены сценарные расчеты и получены плановые распределения характеристик затопления (максимальная глубина, скорость течения), рассчитана потенциальная опасность и время добегания. Выявлены объекты инфраструктуры и части населенных пунктов, находящиеся в наибольшей опасности затопления и подверженные возможному разрушению.

Ключевые слова: Горное озеро, прорывной паводок, селевой поток, оценка опасности.

Введение

Проблема исследования прорывоопасных озер и связанных с ними прорывных паводков и селей актуальна для горных территорий, а особенно для заселенных речных долин (Виноградов, 1977; Petrakov et al., 2012; Perov et al., 2017; и другие). Непосредственные измерения высокогорных озер и речных затруднены, поэтому основными методами исследований становятся рекогносцировка, дистанционное зондирование и сценарное гидродинамическое моделирование.

В последние годы актуальность исследования возможности прорывов горных озер завального и ледникового типов в Таджикистане возрастает. Селевой поток, сошедший в долине р. Барсемдара в июне 2015 г. (Черноморец и др., 2015), разрушил и затопил жилые районы, социальные объекты и инфраструктуру с. Барсем и соседних деревень. Русло р. Гунт было смещено к левому берегу и перекрыто селевыми отложениями, в результате образовалось озеро, названное Барсемкуль. Затопление автодороги, соединяющей Таджикистан с Китаем и Киргизией, нескольких мостов и разрушение основной высоковольтной линии подачи электроэнергии от ГЭС Памир-1 привели к большим экономическим потерям в регионе.

Целью исследования было международное сотрудничество в области оценки опасности схода прорывных паводков и селевых потоков на территории Горно-Бадахшанской автономной области в восточной части Таджикистана и анализ негативных последствий этих потоков. Объекты исследования представляют потенциальную опасность для густонаселенных поселений в долине р. Гунт и важных инфраструктурных

объектов, особенно Памирского шоссе, г. Хорога и двух гидроэлектростанций. Объектами исследования стали долина р. Гунт и 7 долин-притоков.

Материалы и методы

Объектами исследования стали долины, в верховьях которых расположены высокогорные озера: р. Шахдара ниже оз. Чандинкуль, Дурумкуль и Зардивкуль, р. Шорипдара ниже группы ледниковых озер, р. Ривакдара ниже оз. Риваккуль, р. Нимацдара ниже оз. Нимацкуль, р. Южный Тогузбулок и р. Тогузбулок ниже оз. Турумтайкуль, р. Упалы ниже оз. Упалы. Долина р. Гунт рассмотрена от впадения р. Тогузбулок до устья на протяжении около 100 км, включая оз. Барсемкуль, которое также представляет потенциальную опасность прорыва.

На ключевых участках горных долин нами проводились полевые обследования. На прорывоопасных озёрах проведены промеры глубин для расчета объёма воды. Выполнена оценка возможности схода обвалов и оползней и возникновения волн вытеснения. Выявлены предположительные очаги формирования селей непрорывного генезиса.

В качестве метода исследований было выбрано двумерное математическое моделирование движения водных и селевых потоков на основе программного комплекса FLO-2D PRO (O'Brien et al., 1993). Входными данными при моделировании являлись данные о рельефе и возможные сценарии прорыва горных озер, результатами моделирования – плановое распределение глубин затопления, скоростей течения и потенциальной опасности в горных долинах ниже прорывоопасных озер, а также время добегания. В качестве основных данных о рельефе территории использовалась цифровая модель рельефа ALOS PALSAR с разрешением 12,5 м. Корректировка и дополнительная детализация рельефа в руслах рек проводилась с учетом топокарт и космических снимков высокого разрешения с использованием программы ArcGIS 10.2.

Исходные гидрологические данные для моделирования были представлены в виде гидрографов водного потока на входных границах и фоновых расходов воды в реках. Предварительная оценка максимальных расходов воды при прорыве озер проводилась на основе эмпирических формул (Huggel et al., 2004). Кроме того, учитывались экспертные оценки, данные рекогносцировочных обследований и региональные закономерности.

Для расчета баллов потенциальной опасности использовались полученные на основе моделирования данные о скоростях и глубинах потока в каждой ячейке расчетной области. Ранжирование опасности проводилось по трёхбалльной шкале, применяемой в модуле MAPPER PRO программного комплекса FLO-2D PRO (O'Brien et al., 1993).

Результаты

Результаты моделирования позволили оценить потенциально опасные зоны, выявить уязвимые объекты и оценить время, необходимое для эвакуации населения.

Выше оз. Упалы располагается каскад прорывоопасных ледниковых озёр. Вход прорывного селя в оз. Упалы, по нашей оценке, не приведет к его прорыву, однако в случае большого объема может заполнить котловину озера и пойти дальше вниз по долине. С другой стороны, ниже точки перелива с левого борта возможны обвалы и лавины, которые повысят уровень плотины и могут привести к подъему уровня и увеличению объема воды до 2 млн м^3, а затем прорыву. Согласно нашим исследованиям, оз. Турумтайкуль не является прорывоопасным, однако, в долине р. Южный Тогузбулок ниже озера возможно формирование селевых потоков. На участках р. Южный Тогузбулок и р. Упалы рассмотрено прохождение селевых потоков с объемом водной составляющей 1 млн м^3, максимальным расходом селя около 350 м^3/с. Время добегания селя до р. Тогузбулок из обеих долин будет менее одного часа, максимальный расход в р. Тогузбулок составит около 200 м^3/с. При движении по долине р. Тогузбулок паводок трансформируется в водный, расход его у с. Джелонди будет составлять 100 м^3/с, что

обусловит опасность затопления до двух баллов. Время добегания до с. Джелонди будет менее 3 ч.

У впадения р. Тогузбулок в р. Гунт максимальный расход паводка будет составлять около 50 м^3/с. Максимальный расход ниже по течению не превысит 100 м^3/с, пиковые значения расхода будут наблюдаться здесь через 10 ч от момента схода селя. Продолжительность периода с повышенными расходами р. Гунт составит около 10 ч. До с. Вир в 60 км ниже впадения р. Тогузбулок, волна паводка достигнет через 16 ч. Далее расход в р. Гунт будет приближаться к максимальным наблюденным расходам половодья. Затопленными оказываются поймы реки, однако многочисленные поселения вдоль р. Гунт расположены выше уровня затопления, возможны лишь последствия для инфраструктуры этих поселений, приуроченной к руслу реки.

Следующая представляющая опасность река Нимацдара впадает в Гунт ниже с. Вир. Плотина озера является достаточно устойчивой, ее разрушение маловероятно. Прорывной паводок возможен в случае землетрясения. При образовании волны из оз. Нимацкуль, время добегания селя объёма 500 тыс. м^3 с максимальным расходом 200 м^3/с до п. Нимац составляет 1 ч, опасность – максимальная. Поселок Нимац будет затоплен частично. При впадении в р. Гунт расход селевого потока будет составлять 160 м^3/с. В районе п. Шитам пик селевого потока окажется через 2 ч. В долине р. Нимацдара также возможно формирование селевых потоков гляциального генезиса, начинающихся в долине левого притока, не связанных с прорывом озера. Гляциальный сель объемом 2 млн м^3 может полностью затопить п. Нимац, частично п. Шитам и автомобильную дорогу на левом берегу р. Гунт. При этом сценарии рассчитан максимальный балл опасности, п. Нимац затапливается полностью, глубины затопления населенного пункта около 2-3 м, скорости течения 3 м/с, местами до 4 м/с. При впадении в р. Гунт расход селевого потока будет составлять 190 м^3/с. В районе п. Шитам пик селевого потока окажется через 2 ч.

Ниже п. Шитам селевые потоки из долины р. Нимацдара трансформируются в водные паводки. При учете среднего многолетнего расхода р. Гунт на этом участке около 70 м^3/с и с учетом дальнейшего распластывания паводка в створе п. Дихмиена максимальный расход не превысит 140 м^3/с, а в створе плотины ГЭС Памир-1 паводок будет практически не заметен.

Устье р. Ривакдара (левый приток р. Гунт) находится в 7 км выше плотины ГЭС Памир-1. Образование паводка или селя в долине р. Ривакдара в случае падения в оз. Риваккуль обвала маловероятно из-за большой относительной высоты плотины озера над урезом воды. В случае прорыва оз. Риваккуль и полного разрушения плотины объем излившейся воды оценивается в 8 млн м^3, максимальный расход прорывного потока может составить 454 м^3/с (Коновалов и Рудаков, 2016). Поток трансформируется в сель, в который будет вовлечен материал плотины и дополнительный материал в долине, максимальный расход – около 700 м^3/с. По нашим оценкам, подобный сценарий может развиваться в течение длительного периода времени – до 8 часов. Время добегания пика селевого потока до п. Ривак составляет 1,8 ч, потенциальная опасность - максимальная. В створе плотины ГЭС Памир-1 максимальный расход селевого потока окажется через 4,8 ч после прохождения пика на плотине оз. Риваккуль и через 8 ч после начала разрушения плотины озера. В случае реализации этого сценария будет полностью затоплен п. Ривак, частично п. Сижд и автомобильная дорога на левом берегу р. Гунт. Автомобильная дорога выше ГЭС Памир-1 на правом берегу р. Гунт затоплена не будет.

В створе ГЭС Памир-1 максимальный расход селевого потока с учетом расхода воды в р. Гунт составит около 500 м^3/с. При условии, что все водопропускные системы закрыты, поток перельется через гребень плотины водохранилища суточного регулирования и заполнит водоем. Развитие данного сценария ниже плотины ГЭС Памир-1 зависит от того, насколько устойчива плотина к разрушению, заполнится ли водохранилище суточного регулирования наносами или его объем будет вовлечен в селевой поток и от других

факторов, требующих дополнительных изысканий и обзора технической документации по ГЭС.

Наиболее опасный объект ниже ГЭС Памир-1 – оз. Барсемкуль. Объем прорывного паводка из оз. Барсемкуль (при незначительном понижении отметки прорана) может составить 800 тыс. м^3, максимальный расход излива оценивается в 200 м^3/с. Время добегания паводка до центральной части г. Хорог составит 4 ч, максимальный расход воды у г. Хорог составит 172 м^3/с. В зоне затопления находится часть дороги и строения в с. Питодашт, строения в с. Сангов на левом берегу реки, автомобильная дорога у с. Бидурд, отдельные строения в восточной части г. Хорог и в западной части у нижнего моста и в устьевой области р. Гунт.

Возможны реализации и других сценариев. При повторном сходе селя из долины р. Барсем, повышение селевого конуса выноса возможно на 5-10 м, а при последующем прорыве озера объем прорывного паводка оценивается в 3 млн м^3. Объем селя оценивается в 4,5 млн м^3, максимальный расход селевого потока составит 770 м^3/с. Селевой поток достигнет центральной части г. Хорог через 2 ч, максимальный расход селя у г. Хорог составит около 550 м^3/с. В этом случае разрушению подвержены все мосты через р. Гунт. В зоне затопления находятся строения в с. Бердикобод, Манем, Питодашт, Богев, Даштак, Сангов, Бидурд, жилые дома в восточной части г. Хорог у деривационного канала и в западной части города у нижних мостов, промышленные и хозяйственные строения в устьевой области р. Гунт.

Влияние на устойчивость оз. Барсемкуль может оказать его левый приток, р. Шарипдара, в верховьях которой расположен каскад ледниковых озер. В верховьях р. Шарипдара может образоваться катастрофический сель, аналогичный Барсемскому, объемом 4 млн м^3. Время добегания пика селевого потока с максимальным расходом более 600 м^3/с до п. Колхозобод составит 0,8 ч. Максимальный расход потока у п. Колхозобод составит 515 м^3/с, при этом поселок будет затоплен. Селевой материал может частично занести оз. Барсемкуль в районе п. Колхозобод, осуществить дополнительный подпор оз. Барсемкуль и стать причиной его прорыва. Объем прорывного селевого потока из оз. Барсемкуль, оценивается в 2,2 млн м^3, с максимальным расходом 250 м^3/с. Поток достигнет центральной части г. Хорог через 3 ч. В случае повышения уровня воды в оз. Барсемкуль, возникует угроза затопления сбросного канала ГЭС Памир-1, увеличится подпор на р. Гунт, что приведет к активизации склоновых процессов.

Непосредственное влияние на г. Хорог могут оказать опасные процессы, происходящие в долине р. Шарипдара, где расположено три высокогорных озера. Прорывные паводки из оз. Дурумкуль и оз. Зардивкуль возможны в случае сейсмической активности в регионе.

Озеро Зардивкуль подпружено плотиной высотой более 50 м, потеря устойчивости которой теоретически возможна, но вероятность этого невелика. Объем прорывного паводка в случае разрушения плотины может составить 300 тыс. м^3, максимальный расход излива из озера 65 м^3/с. У п. Сежд максимальный расход воды будет наблюдаться через 2.2 ч от начала прорывного паводка и составит 60 м^3/с (с учетом базового расхода р. Шахдара).

Прорыв оз. Дурумкуль возможен при падении крупного обвала в озеро. Потенциальный объем прорывного паводка может достигать 500 тыс. м^3, максимальный расход излива оценивается в 135 м^3/с. Время добегания паводка до п. Сежд – около 1 ч, максимальный расход воды р. Шахдара у п. Сежд составит около 120 м^3/с, в наибольшей опасности находятся прирусловые участки и автодорожный мост. Наиболее населенного участка долины р. Шахдара ниже п. Шодж и Дашт пик паводка достигнет через 11.5 ч. На наиболее освоенном участке в нижнем течении р.Шахдара рассчитана низкая опасность на поймах и высокая на прирусловых участках и в руслах.

При прорыве оз. Чандинкуль максимальный объём излива воды оценивается в 2 млн $м^3$, максимальный расход 420 $м^3/с$, время излива – 2ч. Устья р. Чандиндара поток достигнет через 0,8ч, максимальный расход воды составит 390 $м^3/с$. Наиболее населенного участка долины пик паводка достигнет через 7.5 ч. Большинство населенных пунктов вдоль р. Шахдара в нижнем течении расположены на достаточно высоких отметках относительно уреза воды, однако прорывной паводок представляют угрозу для мостовых переходов, автодорог, линий электропередач, водозаборов и любой хозяйственной деятельности на прирусловых участках.

В устьевом створе р. Шахдара волна прорывного паводка достигнет максимума через 10-11ч от момента прорыва оз. Чандинкуль. При катастрофическом сценарии максимальный расход в устье р. Шахдара составит 157 $м^3/с$, что значительно превысит максимальный расход половодья. После впадения в Гунт паводок затопит строения на пойме и в устьевой зоне в г. Хорог.

Дискуссия

Одной из наиболее сложных задач при моделировании прорывных потоков в горах является оценка вероятности прорывов и разработка возможных сценариев опасных событий. При составлении сценариев использовалось, как экспертное мнение специалистов, так и сценарии-аналоги, эмпирические формулы и литературные данные, однако, не исключены большие погрешности при оценке максимальных расходов воды, особенно при наличии недоучтенных опасных геологических процессов в долинах. Расчетные сценарии могут быть уточнены в результате комплекса полевых обследований перемычек горных озер и условий в нижележащих долинах. При оценке вероятности возникновения рассматриваемых сценариев, также довольно сложно оценить все влияющие на опасные процессы факторы. Одной из проблем, с которой столкнулись разработчики, была неточность используемой цифровой модели рельефа и даже грубые ошибки, особенно в прирусловых областях. Полученные в результате сценарного моделирования зоны затопления имеют оценочный характер. Необходимо осуществление комплекса полевых исследований для выявления наиболее уязвимых объектов инфраструктуры, уточнение высотных отметок в пределах населенных пунктов.

Список литературы

Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 156 с.

Коновалов В.Г., Рудаков В.А. Дистанционное определение резервного объёма прорывоопасных высокогорных озёр //*Лёд и Снег*, т.56, №. 2, 2016: 235-245.

Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Бобов Р., Асматов Н., Мавлоназаров О., Мирмамадов Д., Пирмамадов У., Шафиев Г. Селевые потоки в долине реки Барсемдара в июле 2015 г. и подпрудное озеро Барсемкуль на реке Гунт (Горно-Бадахшанская автономная область, Таджикистан) // *Международная научно-практическая конференция "Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии"*, 2015: 261-264.

Huggel C., Haeberli W., Kääb A., Bieri D., Richardson S. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps // *Can. Geotech. J.*, vol. 41, 2004: 1068-1083.

O'Brien J., Julien P., Fullerton W. Two-dimensional water flood, mudflow simulation // *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, vol. 119 (2), 1993: 244-259.

Perov V.F., Chernomorets S.S., Budarina O.I., Savernyuk E.A., Leontyeva T. A. Debris flow hazards for mountain regions of Russia: regional features and key events // *Natural Hazards*, 88(1 Supplement), 2017:199–235.

Petrakov D.A., Tutubalina O.V., Aleinikov A.A., Chernomorets S.S., Evans S.G., Kidyaeva V.M., Krylenko I.N., Norin S.V., Shakhmina M.S., Seynova I.B. Monitoring of Bashkara glacier lakes (Central Caucasus, Russia) and modelling of their potential outburst // *Natural Hazards*, 61(3), 2012: 1293-1316.

Modelling of mountain lakes outbursts and debris flows in the Gorno-Badakhshan autonomous region, Tajikistan

***Kidyaeva V.M.*[1], Chernomorets S.S.[1], Savernyuk E.A.[1], Krylenko I.N.[1], Dokukin M.D.[2], Viskhadzhieva K.S.[1], Bobov R.F.[3], Pirmamadov U.R.[3], Marodaseinov F.O.[3], Raimbekov Y.H.[3], Kurbonmamadov D.A.[3]**

[1]*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, veramkid@gmail.com*

[2]*Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation,*

[3] *Focus Humanitarian Assistance, Tajikistan*

veramkid@gmail.com

Abstract: The results of the modeling of outburst floods and debris flows, including non-outburst origin, which can possibly occur in the Gunt River valley and its seven valleys-tributaries are presented in the paper. For each river valley the scenarios of the dangerous processes were developed, including their possible triggers, flow volumes, discharges, forms of hydrographs, and likelihood of their occurrence (high, medium or low). The two-dimensional mathematical model of water and debris flows motion FLO-2D was adapted for the valleys using the digital elevation model PULSAR (12.5 m resolution), remote sensing and field data. The scenario calculations were performed and the spatial distribution of flooding characteristics (maximum depth, flow velocity), hazard levels and lag-time were calculated. Infrastructure facilities and parts of the settlements, which are exposed to flooding and destruction were identified.

Keywords: Mountain lake, outburst flood, debris flow, hazard assessment

Гидрологическое моделирование стока рек Черноморского побережья в России на примере реки Туапсе и сравнение результатов с расчетом по стандартным методикам

***Колупаева А.Д.*[1], Макарьева О.М.[1,2,3,4], Нестерова Н.В.[1,4], Бельдиман И.Н.[3]**
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет*
[2]*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск*
[3]*ООО НПО Гидротехпроект, Санкт-Петербург*
[4]*Государственный Гидрологический институт, Санкт-Петербург*
alya.kolupaeva.97@mail.ru

Аннотация: Целью настоящей работы является оценка применимости гидрологической модели «Гидрограф» для расчета максимальных расходов воды в бассейнах малых горных рек Черноморского побережья Кавказа на примере р. Туапсе и сравнение полученных результатов с результатами расчета по стандартным методикам. В рамках данной работы решались следующие задачи: сбор и систематизация данных плювиографов по двум метеостанциям (Горный, Туапсе), параметризация модели «Гидрограф», расчет стока на суточном и часовом (для выдающихся паводков 1991 и 2005 гг.) интервале, расчет максимальных характеристик посредством СП 33-101-2003. В результате выполнено сравнение результатов разных методов расчета максимальных характеристик речного стока в горной местности Северо-Западного Кавказа и сделаны выводы о возможности применения модели для количественной оценки процессов, наблюдения за которыми могут отсутствовать по ряду причин а также для проверки неправильных данных.

Ключевые слова: максимальный сток, гидрологическое моделирование, Черноморское побережье, модель Гидрограф.

Введение

Проблема оценки максимального стока рек, в частности, рек Черноморского побережья, является одной из актуальных проблем современной гидрологической науки.

Побережье Черного моря относится к наиболее паводкоопасным регионам России. Территория Северо-Западного Кавказа отличается разнообразными природными условиями, что в свою очередь влияет на величину и режим речного стока. Гидрологическая сеть в данном регионе развита недостаточно. Для выполнения инженерных задач зачастую не хватает обеспеченности гидрологической информацией малых водотоков рассматриваемой территории. Моделирование, основанное на рассмотрении ландшафтных и климатических параметров водосбора, помогает определить необходимые характеристики стока и дает возможность решить проблему неизученных водотоков. Особенностью работы является использование плювиографических данных для возможности моделирования срочных расходов воды.

Материалы и методы

В работе использовалась детерминированная гидрологическая модели «Гидрограф», представляющая собой математическую систему с распределенными параметрами, описывающую процессы формирования стока в бассейнах с различными физико-географическими характеристиками (Виноградов, Ю.Б. 1988; Виноградов, Ю.Б., Виноградова, Т.А. 2010). Использование в качестве входной информации небольшого числа метеорологических характеристик (температура и влажность воздуха, осадки) позволяет применять модель на малоизученных речных бассейнах. Результатом моделирования служат суточные расходы воды в замыкающем створе, а также водные

балансы водосборов, в том числе и неизученных, и различные переменные состояния ландшафтов. Это позволяет оценивать соответствие результатов расчетов природным процессам. Был реализован единый методологический подход по оценке, обобщению и систематизации параметров модели Гидрограф для бассейна реки Туапсе, который состоит из сбора и анализа данных, характеризующих процессы формирования стока на масштабе склона, выделение стокоформирующих комплексов (СФК), оценку параметров СФК по имеющимся литературным данным. В работе был использован продолжительный ряд (1980 – 1992, 1997 – 2015 гг.) данных количества и интенсивности осадков, полученный плюфиографами.

Объект исследования

В качестве объекта исследования был выбран водосбор реки Туапсе площадью 352 км^2, расположенный на южном склоне северо-западной части Большого Кавказа. Реки региона характеризуются дождевым типом питания с характерным паводковым режимом стока. Климат территории влажный субтропический. Средняя высота водосбора составляет 365 м, максимальная – 1425 м. Водосбор оснащен метеорологическими данными двух метеостанций, расположенных на разных высотах (Туапсе (41 м) и Горный (324)), что представляет возможность интерполирования метеорологические данные на всем водосборе и данными гидропоста Туапсе), что позволяет делать сравнение результатов моделирование с натурными данными. Средняя годовая температура воздуха составляет 13,9 С, годовое количество осадков достигает 1436 мм. Особенности района является выпадение основной доли осадков в зимний период.

Результаты

Моделирование среднесуточных расходов воды

В работе было проведено непрерывное моделирование процессов формирования стока с суточным шагом для бассейна р. Туапсе за период с 1966 по 2005 гг. Результатами моделирования стали гидрографы стока (Рис.1) и значения элементов водного баланса (Таблица 1).

Моделирование выдающихся паводков

Особое внимание было уделено историческому паводку, произошедшему 1 августа 1991 года, когда среднесуточный расход воды составил 635 м^3/с, а максимальный 2300 м^3/с [4].

Максимальный наблюденный расход составил 2300 м3/с. Смоделировав ход стока по данным плювиографов с учётом слоя осадков и интенсивности (рис. 2) получен максимальный расход равный 888 м3/с. Ни рисунке 2 видно, что ход расхода воды соответствует ходу слоя наблюденных осадков. Максимальный рассчитанный 1-часовой расход воды составил 890 м$^{3/}$с, суточный – 182 м$^{3/}$с, рассчитанный слой стока за сутки – 45 мм. Таким образом, рассчитанные величины расходов воды оказались в три и более раза ниже наблюденных. Мы предполагаем, что значение стока исторического паводка было завышено.

Также было произведено моделирование паводка экстремального паводка 17-18 июня 2005 года (рис. 3). За 13 часов выпало рекордное количество осадков – 291 мм, средняя и максимальная интенсивность их выпадения составила 0.36 и 1.90 мм/мин. В те же сутки в течение 6.5 часов на метеостанции Туапсе выпало 48.8 мм осадков. В следующие дни осадки продолжались и суммарно за период 17-24 июня составили 444 мм и 81.5 мм для метеостанций Горный и Туапсе соответственно. Максимальный расход составил 1316 м^3/с, средний – 191 м^3/с. Данные об измеренном расходе отсутствуют. В данном случае моделирование максимальных характеристик использовалось для восстановления ряда гидрологических данных.

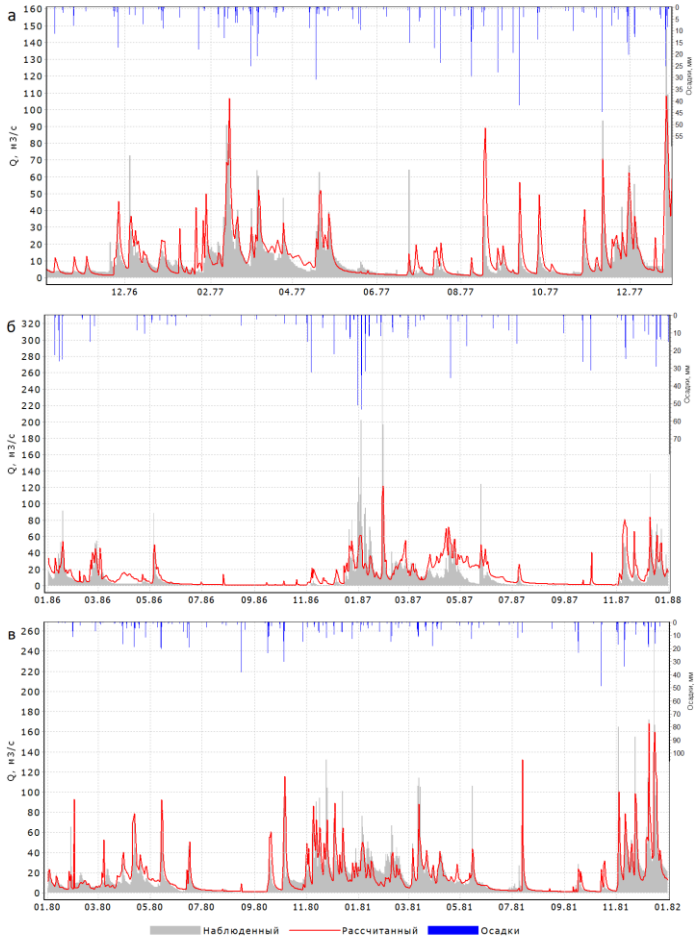


Рис. 1. Суточные рассчитанный и наблюденный гидрографы стока р. Туапсе – г. Туапсе, м^3/с (а – высокое значение NS, б – низкое значение NS, в – среднее значение NS).

Таблица 1. Значения элементов водного баланса для бассейна реки Туапсе.

Сток расч.	Сток набл.	Осадки	Испарение
1200	1238	1805	567

Результат расчета по СП

Расчет по СП-33-101-2003 производился по реке-аналогу. В качестве аналога для рассматриваемого водотока выбирался водоток, удовлетворяющий рекомендациям СП-33-101-2003, расположенный в районе со сходными условиями формирования стока, что и исследуемый бассейн; имеющий близкую по величине площадь и высоту водосбора, а также отвечающий требованиям, касающимся формы водосборов. В качестве аналога была выбрана река Вулан (площадь водосбора – 265 м^2), расположенная в сходных условиях формирования стока на небольшом удалении относительно водосбора р. Туапсе. В результате расчета были получены значения максимального стока заданной обеспеченности (Таблица 2).

Сравнив результаты полученных максимальных расходов с наблюденными можно сделать вывод, что использование реки-аналога привело к занижению максимальных характеристик почти в 2,5 раза (на 57%) для обеспеченности 2%; почти в 2 раза (на 46%) для Р%=5; для обеспеченности 10% снижения практически не произошло (на 1%); для Р%=25 на 14%; для Р%=50 снижение на 12%. Таким образом использование реки-аналога привело к занижению максимальных расходов воды реки Туапсе на 1-57%. Наиболее

надежным является применение реки-аналога для расчета характеристик обеспеченностей более 10%.

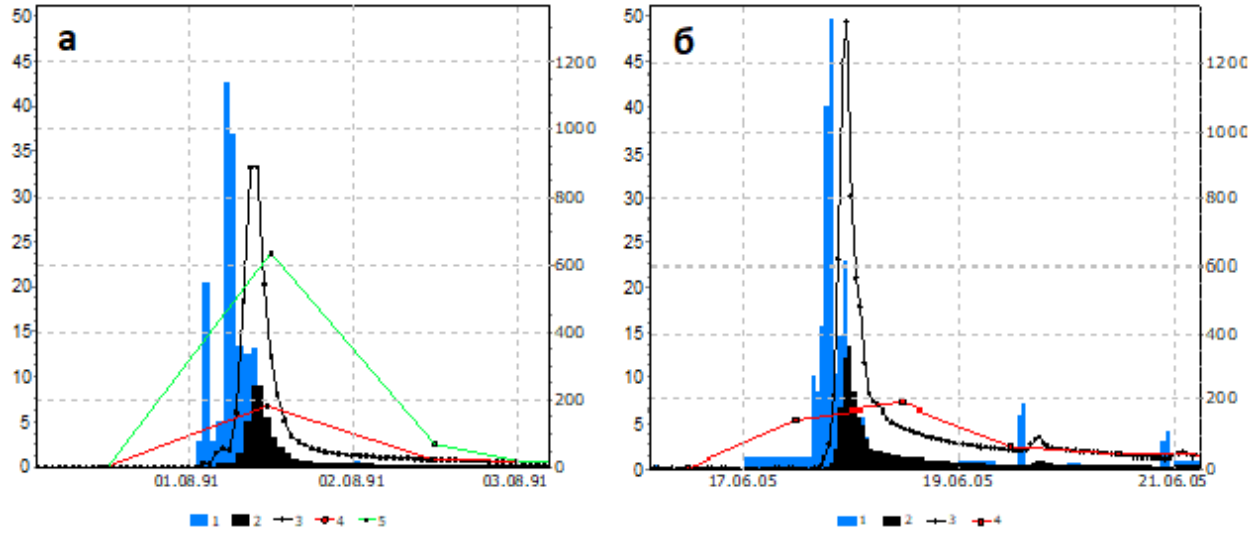


Рис. 2. Смоделированный ход осадков и расхода воды за выдающийся паводок а) 1 августа 1991г и б) 16-21 июня 2005 г, 1-осадки, 2 – слой стока, мм, 3 – сток, м³/с, 4 – смоделированный среднесуточный гидрограф, м³/с, 5 – наблюденный среднесуточный гидрограф, м³/с.

Таблица 2. Максимальные расходы воды дождевых паводков, полученные при расчете с применением реки-аналога и наблюденные.

Способ расчета	F, км^2	$Q_{1\%}$	$Q_{2\%}$	$Q_{5\%}$	$Q_{10\%}$	$Q_{25\%}$	$Q_{50\%}$
По аналогу	351	1192	1008	814	672	488	345
Наблюденные	351	-	2357	1500	679	571	393

Выводы

По результатам данной работы были сделаны выводы о применимости гидрологической модели «Гидрограф» для определения гидрологических характеристик малых рек Черноморского побережья; о возможности использования данных плювиографов для анализа катастрофических паводков и уточнения их расходов, для проверки гидрологических моделей; о возможности расчета срочного расходы для задач инженерных изысканий и проектирования при отсутствии данных наблюдений за стоком.

Проект выполнен при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ, проект № 16-05-00989.

Список литературы

Виноградов, Ю.Б. 1988. Математическое моделирование процессов формирования стока (опыт критического анализа). Л.: Гидрометеоиздат, 312 с.

Виноградов, Ю.Б., Виноградова, Т.А. 2010. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Изд. Центр «Академия», 297 с.

Vinogradov, Y. B., Semenova, O. M. and Vinogradova, T. A. 2011. An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system. Hydrological Processes, 25: p. 1055---1073. doi: 10.1002/hyp.7901

Панов В.Д. Базелюк А.А., Лурье П.М. 2012. Реки Черноморского побережья Кавказа: гидрография и режим стока. – Ростов-на-Дону: Донской издательский дом. – 605 с.

Hydrological modeling of the Black Sea coast river flow in Russia by example of the Tuapse river and comparison of results with calculation according to standard methods

***Kolupaeva.A.D.*[1], Makarieva O.M.[1,2,3,4], Nesterova N.V.[1,4], Beldiman I.N.[3]**
[1]*St. Petersburg State University*
[2]*Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk*
[3]*Gidrotehproekt Ltd., St.Petersburg*
[4]*State Hydrological Institute, St. Petersburg*
alya.kolupaeva.97@mail.ru

Abstract: The purpose of this paper is to assess the applicability of the hydrological model "Hydrograph" for calculating the maximum water flow in the basins of small mountain rivers of the Black Sea coast of the Caucasus, for example, Tuapse and comparison of the results with the results of calculations using standard methods. Within the framework of this work the following tasks were solved: collection and systematization of the data of the pluviographs on two meteorological stations (Gorny, Tuapse), parametrization of the Hydrograph model, calculation of the runoff at the daily and hourly intervals (for outstanding floods in 1991 and 2005), the calculation of the maximum characteristics by means of SP 33-101-2003. As a result, the results of different methods for calculating the maximum characteristics of river flow in the highlands of the North-Western Caucasus were compared and conclusions were drawn on the possibility of using the model to quantify processes that may not be monitored for a number of reasons and also to verify incorrect data.

Keywords: Hydrological modelling, maximum runoff, Black Sea coast, Hydrograph model

Оценка чувствительности характеристик затопления к изменениям природных и антропогенных факторов на основе двумерной гидродинамической модели

***Крыленко И.Н.*[1,2], *Головлев П.П.*[1], *Корнилова Е.Д.*[1], *Сазонов А.А.*[1,2], *Фингерт Е.А.*[1,2]**
[1]*МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, Москва*
[2]*Институт водных проблем РАН, Москва*
krylenko_i@mail.ru

Аннотация: Для анализа чувствительности опасности затопления к изменениям природных и антропогенных факторов для ключевых участков рек Лены (г. Якутск), Малой Северной Двины (г. Великий Устюг), Оки (г. Рязань) и Томи (г. Томск) был выполнен ряд численных экспериментов на основе двумерной гидродинамической модели STREAM_2D (авт. В.В. Беликов и др.) для построения зависимостей основных характеристик потока, определяющих опасность затопления (площадь затопления, глубина, скорость течения, удельная энергия потока) от входного расхода воды. Показано, что уменьшение площадей затопления при выходе части поймы из-под-затопления при ее освоении приводит к увеличению интенсивности потока на оставшихся поймах (до 20%). Увеличение максимальных расходов воды при отсутствии влияния инфраструктуры на пойме приводит к увеличению средней глубины затопления; площади затопления и средние скорости течения увеличиваются несущественно.

Ключевые слова: гидродинамическое моделирование, наводнения, поймы, оценка чувствительности

Введение

Многие современные авторы отмечают тенденцию увеличения количества наводнений и ущербов от них (Добровольский и Истомина, 2006). С другой стороны, в ряде речных бассейнов отмечается тенденция к уменьшению стока (Фролова и др., 2015), что должно, напротив, приводить к уменьшению заливаемых в половодье и паводки территорий. Это противоречие связано с недооцененной ролью вклада антропогенных факторов в условия затопления конкретных участков речных пойм. Антропогенное влияние может проявляться как в росте площади затапливаемых освоенных территорий из-за активного освоения пойм, так и выхода пойменных участков из-под затопления из-за хозяйственной деятельности в руслах и на поймах рек (например, строительство насыпей и дамб). Стоит отметить, что возможные изменения характеристик затопления существенно зависят от морфометрии конкретных участков речных долин и характера их освоения, что еще более усложняет анализ, особенно классическими методами гидрологических исследований. Численные эксперименты на основе гидродинамической модели дают возможность количественных оценок вклада климатически обусловленных факторов (в основном, изменений стока) и факторов, связанных с хозяйственной деятельностью непосредственно на участках речных долин, в изменение характеристик затопления пойм.

Материалы и методы

Для определения характеристик затопления в качестве основной модели использовался программный комплекс STREAM_2D (авт. В.В. Беликов и др.), широко применяемый в России и показавший высокую эффективность при решении различных задач, связанных с исследованием динамики водных потоков. В основу программного комплекса положено численное решение двумерных уравнений Сен-Венана в приближении мелкой воды. Двумерная модель STREAM_2D также включает авторскую

методику по построению гибридных расчетных сеток с переменным шагом, которая позволяет легко адаптировать модель для многорукавных русел с обширными поймами, характерных для многих рек России. В качестве исходных данных для моделирования используется цифровая модель рельефа пониженной части долины реки, в качестве граничных условий задаются расходы и уровни воды. Получаемые на основе моделирования характеристики водного потока - уровни воды, скорости течения, глубины и площади затопления, удельная энергия потока, продолжительность стояния воды, являются базовыми для оценки опасности наводнений и потенциальных ущербов от них.

Основными объектами исследования являлись поймы крупных рек России (р. Северной Двины, Лены, Оки, Томи). Выбор ключевых участков исследования приурочен к поймам рек различной степени освоенности и в различных природных зонах, при этом затопление пойм на всех ключевых участках обусловлено наводнениями смешанного (преимущественно стоково-заторного) генезиса.

Исходными данными для применения гидродинамической модели являлись материалы полевых исследований лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ, включая результаты батиметрических съемок, измерений расходов воды, отметок водной поверхности; многолетние данные режимных наблюдений по гидрологическим постам, для задания рельефа поймы привлекались данные крупномасштабных топографических карт и полевых съемок, для верификации модели – данные разновременных космических снимков. Для схематизации расчетной области использовались гибридные треугольно-четырехугольные сетки с переменным шагом, линейные сооружений на пойме и в руслах, русла рек на многорукавных участках задавались на основе четырехугольной сетки, остальная расчетная область покрывалась треугольной сеткой с переменным шагом

Для оценки вклада различных факторов на характеристики затопления пойм была разработана специальная методика и выполнены численные эксперименты на основе двумерной гидродинамической модели STREAM_2D на ключевых участках рек Лены (г. Якутск), Малой Северной Двины (г. Великий Устюг), Оки (г. Рязань) и Томи (г. Томск). Численные эксперименты были организованы следующим образом: расчеты проводились во всем диапазоне наблюдаемых на ключевых участках расходов воды с постоянным шагом (1000 $м^3/с$, 2000 $м^3/с$ и т.д.). В качестве максимального расхода задавался расход 1% обеспеченности для современных условий, дополнительно учитывалось возможное его увеличение на 10%. Уровень воды на нижней границе модели задавался по кривой Q=f(H). Моделирование проводилось до условий “установления”: моделировалось прохождение постоянного расхода воды до тех пор, пока переставали меняться все гидравлические характеристики потока, время установления составляло от 1 до 4 суток в зависимости от протяженности участка. Для построения зависимостей полученные в результате моделирования скорости течения, глубины водного потока осреднялись по всей области моделирования. В результате экспериментов были получены зависимости основных характеристик потока (площади затопления, глубины потока, скорости течения, удельной энергии потока) от входного расхода воды.

Также был проанализирован вклад изменений коэффициента шероховатости подстилающей поверхности, являющегося основным калибровочным параметром гидродинамической модели, в изменение характеристик затопления, для этого в ходе численных экспериментов были построены зависимости характеристик затопления от входного расхода воды при значениях шероховатости русел и пойм. В ходе численных экспериментов были рассмотрены сценарии при коэффициентах шероховатости русел 0.02, 0.024, 0.028, 0.032. Отдельно менялись коэффициенты шероховатости пойм от 0.04 до 0.1 (0.04, 0.06, 0.08 и 0.1).

Результаты

Анализ результатов численных экспериментов показал, что даже осредненные по все области моделирования характеристики потока чувствительны к изменению внешних факторов, таких как: увеличение стока; изменения коэффициента шероховатости; ледовые заторы; изменения рельефа поймы под влиянием дорожных насыпей и застройки.

По результатам моделирования, при увеличении максимальных расходов воды все характеристики потока, определяющие опасность затопления, закономерно увеличиваются. При этом средняя по исследуемой области скорость течения и площадь затопления увеличиваются незначительно (на 1-3% и 2% соответственно), это связано с тем, что максимальные расходы воды проходят здесь при полностью затопленной пойме. Нарастание средней глубины затопления более существенно и составляет 5 – 8%, удельная энергии потока, определяющая интенсивность наводнения, возрастает на 7% на р. Лене у г. Якутск и на 16% на ключевом участке у г. Великий Устюг. При формировании ледовых заторов, площадь затопления относительно беззаторных условий увеличивается на 30-40% при расходах, соответствующих началу затопления пойм, и на 10-15% при наибольших расходах воды, при которых формируются ледовые заторы.

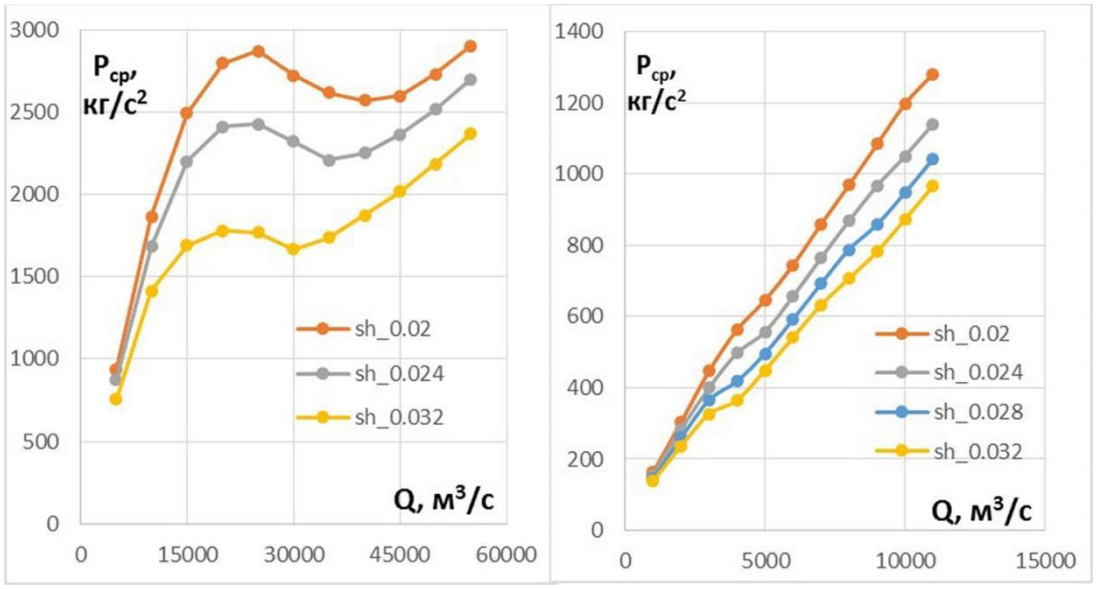
Рельеф пойм р. Томи у г. Томск частично преобразован за счет дорожных насыпей и картина изменения характеристик затопления на этом участке более сложная: при превышении расхода воды 1% обеспеченности возможен перелив через дорожные насыпи, в современных условиях отгораживающие от затопления значительный сегмент левобережной поймы. При увеличении максимальных расходов воды р. Томи на 10% происходит заливание данного участка, и значительно, более чем на 15%, увеличиваются площади затопления, средняя удельная энергия потока при этом даже несколько снижается.

Результаты моделирования показали, что все характеристики потока, чувствительны к изменениям коэффициента шероховатости русел. Так, изменение коэффициента шероховатости русел с наименьшего до наибольшего в рассмотренном диапазоне значений (с 0.02 до 0.032) приводит к увеличению средней по области моделирования глубины потока на 0,4-0,7м, площадей затопления на 6-9%, уменьшению средней скорости течения на 0,15 – 0.2 м/с и снижению удельной энергии потока на 25-27% (рис.1). Чувствительность характеристик потока к изменениям коэффициента шероховатости пойм несколько ниже. Так, при увеличении коэффициента шероховатости пойм с 0.04 до 0.1 средняя глубина затопления возрастает на 0.16-0.25 см, площадь затопления на 2-4%, скорость течения понижается на 0.05-0.07 м/с, удельная энергия потока снижается на 9-13%.

В ходе увеличения антропогенной нагрузки могут происходить изменения рельефа пойм, например, в результате строительства дамб, дорожных насыпей или повышения отметок пойм с целью размещения жилых кварталов. Такое воздействие может сказываться на изменении характеристик затопления на локальных участках, но при существенном освоении пойм может привести к их изменениям для всей прилегающей территории. Рассмотрим это на примере двух наиболее освоенных ключевых участков – р. Томь у г. Томск и р. Оки у г. Рязань. Для оценки вклада существующей и проектируемой инфраструктуры в изменение опасности затопления были проведены сценарные расчеты, с учетом ее расположения на поймах и при неизмененном состоянии пойм во всем диапазоне наблюдавшихся расходов воды. Для г. Томск было рассмотрено два сценария – прохождение половодий при наличии дорожных насыпей, перегораживающих часть поймы, и в случае их отсутствия. Для пойм р. Оки у г. Рязань учитывались аналогичные сценарии, а также дополнительно рассмотрен сценарий с проектом застройки поймы, при котором предполагается поднять выше уровня затопления

несколько участков пойм с общей площадью 12.5 км^2 (при площади области моделирования 210 км^2).

Сопоставление результатов моделирования для рассмотренных сценариев для обоих ключевых участков показало, что за счет стеснения потока на пойме при наличии дорожных насыпей при прохождении расходов воды, соответствующих затоплению поймы, средняя интенсивность потока возрастает в среднем на 5 - 7 % (до 15% при прохождении максимального наблюдавшегося расхода воды на р. Томи), в основном за счет увеличения средней глубины на величину 25 - 35 см. Площадь затопления уменьшается на 1 - 3% на поймах р. Оки и на 6 - 10% на поймах р. Томи. Дополнительное влияние планируемой застройки приводит к увеличению интенсивности потока по сравнению с современными условиями на 9 - 10% во всем диапазоне наблюдаемых расходов воды. Суммарный вклад инфраструктуры в этом случае обусловит увеличение интенсивности потока на 15 - 20% по сравнению с условиями до освоения пойм при существенном уменьшении площади затопления.



а) б)

Рис. 1 Полученная по результатам численных экспериментов удельная энергия потока в зависимости от входного расхода воды при различных значениях коэффициента шероховатости русел для ключевых участков р.Лена - г. Якутск (а) и р. Малая Северная Двина - г. Великий Устюг – (б)

Выводы

Таким образом, анализ полученных зависимостей для ключевых участков показал, что даже осреднённые по всей области моделирования значения характеристик потока чувствительны к изменениям внешних условий. Так, изменение коэффициента шероховатости русел с наименьшего до наибольшего в рассмотренном диапазоне значений (с 0.02 до 0.032) приводит к увеличению средней по области моделирования глубины на 0.4-0.7м, площадей затопления на 6-9%, уменьшению средней скорости течения на 0.15 – 0.2 м/с и снижению удельной энергии потока на 25-27%. Уменьшение площадей затопления при выходе части поймы из-под-затопления при ее освоении приводит к увеличению интенсивности потока на оставшихся поймах (до 20%). Климатически обусловленное увеличение максимальных расходов воды при отсутствии существенного влияния инфраструктуры на пойме приводит к увеличению средней глубины затопления, площади затопления и средние скорости течения увеличиваются несущественно. При совокупном вкладе двух факторов - наличии сооружений на поймах и

увеличении максимальных расходов воды относительно современных, характеристики затопления могут изменяться достаточно индивидуально для каждого участка в зависимости от проектных отметок сооружений. Программа численных экспериментов для оценки влияния различных факторов на изменения характеристик затопления пойм разработана впервые и позволяет сравнивать ключевые участки, расположенные в различных природных условиях и при разной степени антропогенной нагрузки.

Методика оценки характеристик затопления разработана при поддержке проекта РФФИ 17-05-01230, численные эксперименты по оценке опасности затопления проведены при поддержке проекта РНФ 14-17-00155.

Список литературы

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: ГЕОС, 2006. - 256 с.

Фролова Н.Л., Киреева М. Б., Агафонова С. А., Евстигнеев В. М., Ефремова Н. А., Повалишникова, Е. С. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории и его изменение. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, 4 (2015), 4–20

Assessment of the sensitivity of flooding characteristics to changes in natural and anthropogenic factors based on a two-dimensional hydrodynamic model

***Krylenko I.N.*[1,2], *Golovlyov P.P.*[1], *Kornilova E.D.*[1], *Sazonov A.A.*[1,2], *Fingert E.A.*[1,2]**

[1]*Lomonosov Moscow State University, Moscow*

[2]*Institute of Water Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow*

krylenko_i@mail.ru

Abstract: To analyze the sensitivity of the flood hazard to changes in natural and anthropogenic factors, a number of numerical experiments based on the two-dimensional hydrodynamic model STREAM_2D (author V.V Belikov et al.) for key area of the Lena river near city Yakutsk, Northern Dvina (Veliky Ustyug), Oka river (Ryazan) and Tom (Tomsk) were performed. Dependencies of the main flow characteristics that determine the risk of flooding (flooding area, depth, flow velocity, flow intensity) from the input water discharges were obtained. By results of modelling a decrease in floodplains areas due to anthropogenic activity leads to an increase in the flow intensity on the remaining floodplains (up to 20%). An increase in the maximum water flow in the absence of infrastructure impact on the floodplain will lead to an increase in the average depth of flooding; flood areas and average flow velocities increase insignificantly.

Keywords: Hydrodynamic modeling, flooding, floodplains, sensitivity analyses

Применение динамико-стохастического подхода для сценарной оценки характеристик максимального стока реки Уссури

Лупаков С.Ю.[1,3]***, Гарцман Б.И.***[1,2]
[1] *Тихоокеанский институт географии ДВО РАН*
[2] *Институт водных проблем РАН*
[3] *Дальневосточный федеральный университет*
darkbelka92@gmail.com

Аннотация: На основе методологии динамико-стохастического моделирования выполнена сценарная оценка изменения режима максимального стока реки Уссури, режим которой относится к дальневосточному типу (с преобладанием дождевых паводков в теплый период), при возможных климатических изменениях на перспективу 50-100 лет. Использованная для оценок модель FCM, широко применяемая в регионе для оперативного прогнозирования дождевых паводков, показала хорошее качество воспроизведения режимных характеристик паводкового стока за период с наличием данных наблюдений. Формирование сценариев будущего климата выполнялось на основе сочетания аналогового подхода и применения стохастического генератора погоды.

Наиболее важным результатом исследования является факт непропорционального отклика характеристик максимального стока на климатические подвижки. Увеличение количества осадков паводкового периода (июнь-сентябрь) на 20% вызывает рост норм максимальных годовых расходов до 120% и суммарного слоя стока до 60 %.

Ключевые слова: Моделирование, паводки, сценарий, Дальний Восток, максимальный сток, изменения климата

Введение

Реки российского Дальнего Востока, особенно его южной части, имеют специфический гидрологический режим (описанный как дальневосточный тип), в котором наиболее динамичным и трудно прогнозируемым элементом являются летние дождевые паводки. Учитывая ускоренное хозяйственное освоение региона, вопрос качественного гидрологического прогноза в течение десятилетий не теряет своей актуальности, как в прикладном, так и теоретическом аспектах. Осложняющим фактом также можно считать фиксируемые климатические изменения, учет которых при гидрологическом моделировании и прогнозировании представляет нетривиальную задачу. Представленное исследование является этапом разработки указанной проблематики.

Материалы и методы исследования

Опираясь на схему динамико-стохастического моделирования (Виноградов, 1988; Гельфан, 2007), были оценены максимальные расходы и суммарный слой стока за летний паводкоопасный период (июнь-сентябрь) по реке Уссури (створ у пгт.Кировский, 24400 км^2) и пяти его притоков с площадями водосбора не более 3 тыс. км^2 (Табл. 1).

В работе использованы стандартные гидрометеорологические данные в виде суточных значений расходов воды и сумм осадков по постам и станциям, оцифрованные и сохраненные в автоматизированных архивах. Длина ряда по большинству объектов составляет порядка 40-50 лет. В целом, наблюдательная сеть развита недостаточно, имеются пропуски в данных, тем не менее бассейн р.Уссури-пгт.Кировский представляется объектом с наибольшей плотностью гидрометеорологической сети на Дальнем Востоке.

Для создания сценариев входного потока данных была использована модель осадков, базирующаяся на основе пространственно-распределенной версии генератора погоды SFRWG (Гельфан, Морейдо, 2015). Для моделирования процессов формирования стока

применялась модель паводочного цикла малого речного бассейна (Flood Cycle Model, FCM) (Гарцман, 2008), отличающаяся достаточно простым алгоритмом, малым количеством параметров, вместе с тем дающая адекватные результаты. Так как FCM имеет ограничение в использовании площадью объектов до 2-3 тыс. км^2, для моделирования стока в замыкающем створе р.Уссури-пгт.Кировский были применена схема с бассейнами-индикаторами (Гарцман, 2007), при которой каждый малый бассейн рассматривается как репрезентативный по отношению к процессам стокоформирования на определенной площади. Сток в замыкающем створе рассчитывается по методу Калинина-Милюкова, где частные гидрографы суммируются с соответствующими весами. Параметры модели определены ранее - на основе совместного анализа измеренных расходов и сумм осадков.

Используя стохастическую модель, были рассчитаны синтетические ряды суточных осадков длиной в 5000 лет. Далее был проведен ряд вычислительных экспериментов для всех бассейнов следующим образом: проводился 100-кратный расчет гидрографов стока, краевые условия назначались с помощью датчика случайных чисел; для каждого года выбирался максимальный расход Q_{max} и суммарный слой стока W_{VI-IX}; полученные 100 выборок для каждой характеристики ранжировались и осреднялись по рангам, по осредненным значениям строились модельные кривые обеспеченности; имея 100 рассчитанных значений Q_{max} и W_{VI-IX}, была получена возможность построения доверительных интервалов на 5 и 1% уровнях надежности.

Задание сценариев регионального климата – сложная задача, которая пока далека от разрешения. Изначально было решено рассматривать вариант увеличения влажности климата рассматриваемой территории в виде умеренного роста суммы осадков паводкоопасного периода в обозримом будущем. Это коррелирует с тем, что за последние 10-20 лет в бассейне Амура наблюдается рост повторяемости экстремальных гидрометеорологических явлений (Гарцман, Лупаков, 2017). Учет этого произведен через стохастическую модель, в которой осадки были увеличены на 20%. Очевидно, такое назначение возможного будущего состояния климата дискуссионно, поэтому стоит рассматривать результаты исследования не как прямой прогноз, а как проекцию - применение увеличенных осадков даст возможность оценить реакцию гидрологических систем (бассейнов) на входное воздействие.

Результаты

Сравнение эмпирических и модельных кривых обеспеченности характеристик стока малых рек (Рисунок 1, а-г) показывает, что стохастическая модель дает на выходе адекватные осадки, которые можно использовать в дальнейшем. Однако применение этих синтетических рядов для расчета стока замыкающего створа Кировский показало также наличие погрешностей, заключающихся в выходе некоторого количества эмпирических точек за границы доверительных интервалов кривой. Для снижения этих погрешностей алгоритм моделирования был модернизирован следующим образом. Для Дальневосточного региона ранее предложена типизация внутригодового распределения стока, основанная на характере гидрографов отдельных лет (Гарцман и др., 1971):

тип А характеризуется отсутствием сильных паводков летом, большая часть стока приходится на весну;

тип Б отличается равенством водности весны и лета, которые отделены фазой пониженного стока;

типу В соответствует значительный сток летне-осеннего периода с высокими пиками;

в типе Г отмечается паводочный режим стока за весь теплый период с примерно равным распределением по месяцам.

Была сделана попытка использовать данную типизацию лет для возможности учета в модели осадков различных метеорологических ситуаций (тип А - малый сток - мало

осадков, тип В - паводки - много осадков и т.п.). Все годы наблюдений по бассейну р.Уссури-пгт.Кировский были классифицированы в соответствии с данной типизацией, после чего данные по осадкам были обобщены для лет каждого типа. Уже на основе простых статистических параметров (таких как средние, максимальные-минимальные значения) было выявлено, что типам А и Б соответствуют меньшие значения осадков, по сравнению с типам В и Г. Тогда типы были объединены в две условные категории: АБ - маловодный период, ВГ - многоводный период.

Табл. 1 Объекты исследования и параметры моделей

Характеристики	Бассейны-индикаторы (река-пункт)				
	р.Уссури - с.Верхняя Бреевка	р.Извилинка - с.Извилинка	р.Павловка - с.Антоновка	р.Муравейка-с.Гродеково	р.Крыловка-с.Крыловка
F, км^2	1720	1160	2670	761	1070
Метео-станции	Верхняя Бреевка, Ясное	Извилинка, Ясное	Антоновка, Кавалерово	Верхняя Бреевка, Гродеково	Самарка, Ариадное
Параметры модели паводочного цикла (FCM)					
$R_{рус}$	0.52	0.44	0.41	0.40	0.40
$M_{кр}$, мм/сут	6.50	9.09	8.00	7.00	6.78
ПВ, мм	215	160	187	192	142
НВ, мм	153	90	130	143	115
$R_{вер}$	0.80	0.54	0.76	0.80	0.20
$g_{глуб}$, мм/сут	0.1	0.2	0.0	0.0	0.25
Параметры модели добегания до замыкающего створа					
	4.7	4	5.1	5	2.7
N	10	65	18	10	2
$k_{вес}$	0.1	0.25	0.15	0.1	0.4

** параметры: $R_{рус}$ – показатель истощения руслового влагозапаса; $M_{кр}$ – модуль критического расхода; ПВ – полная влагоёмкость бассейна; НВ – наименьшая влагоёмкость; $R_{вер}$ - показатель истощения влагозапаса «верховодки»; $g_{глуб}$ – показатель глубокого подземного водообмена; - время добегания (метод Калинина-Милюкова); N – число условных водохранилищ (там же); $k_{вес}$ – весовой коэффициент бассейна-индикатора.*

Затем в алгоритм работы стохастической модели осадков были внесены следующие изменения. Сначала определяется набор метеопунктов, для которых имеется общий ряд наблюдений, затем проводится расчет среднесезонного (июнь-сентябрь) значения измеренных осадков для общего ряда. Суточные осадки отдельного года пересчитываются в модульные коэффициенты относительно этого значения и каждый год рассматривается как «шаблон» или «фрагмент». Далее среднесезонное значение разыгрывается датчиком случайных чисел, «фрагмент» выбирается случайным образом и модельные значения восстанавливаются по модульным коэффициентам. Использование типизации выполнялось применением простого условия: если разыгрываемое среднесезонное значение оказывалось больше фактической нормы, выбирался случайный «фрагмент» типа ВГ, в противном случае – типа АБ. Несмотря на простоту усовершенствования алгоритма, результаты расчетов стока оказался заметно лучше (Рисунок 1, д-е). Количество точек, выпадающих за соответствующие границы доверительных интервалов, оказалось значительно меньше. Также форма модельных кривых обеспеченности стала заметно ближе к эмпирическим, что говорит о более правильном распределении осадков в пределах паводочного сезона.

Следующим шагом стал расчет стока с осадками, увеличенными в модели на 20%, при этом не только увеличивается объемы синтетических дождей, но и частота появления условно «влажных» лет (типа ВГ), поскольку разыгрываемая годовая норма сравнивается с фактической многолетней. Порядок выполнения вычислительных экспериментов при

этом остался прежним. Результат в виде кривых обеспеченности представлен на Рисунке 1 (ж-з). Отметим, что обе модельные кривые лежат выше соответствующих эмпирических, однако заметно меньшее влияние повышения общего увлажнения на кривую максимальных расходов, также 5 точек в зоне низких обеспеченностей находятся вплотную к модельной кривой. Напротив, суммарный слой стока более чувствителен к входному воздействию, что соответствует природе исследуемых процессов.

В результате экспериментов получено, что на исследуемых водосборах при росте осадков на 20% нормы зафиксирован рост норм максимальных расходов от 36% до 120%, нормы суммарного слоя стока растут от 37% до 60%. Таким образом увеличение осадков вызывает непропорциональный стоковый отклик с превышением (в процентах) до 3-6 раз. Оценки того же порядка получены также в (Гарцман и Лупаков, 2017; Калугин, 2016).

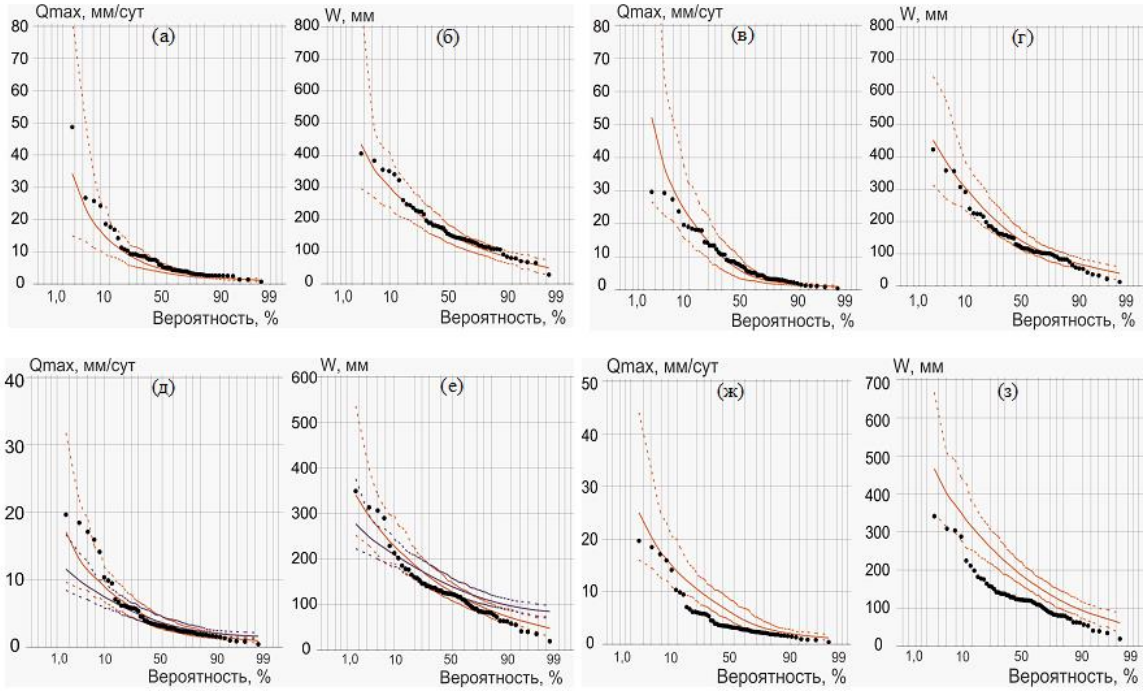


Рис.1 Примеры кривых обеспеченности для некоторых малых речных бассейнов: а, б - р.Уссури-с.Верх.Бреевка, в, г - р.Муравейка-с.Гродеково,; для замыкающего створа р.Уссури-пгт.Кировский - д,е (при сравнении двух использованных версий стохастической модели осадков (красный цвет - с типами, синий - без типов)), ж, з (при увеличении осадков на 20%). Точки - эмпирические кривые, сплошные линии - модельные кривые, пунктир - границы 98% доверительного интервала

Выводы

В целом, была подтверждена принципиальная возможность использования схемы динамико-стохастического моделирования на основе FCM для расчета стока и учета различных метеорологических особенностей, в т.ч. возможных климатических изменений. Процедура усовершенствования стохастической модели осадков на основе классификации гидрологических типов стока также признана успешной.

Основным моментом проведенного исследования следует рассматривать применение проекционного сценария будущего климата, по которому осадки над изучаемой территорией увеличатся. В результате вычислительных экспериментов было установлено, что повышение количества осадков приводит к усиленному росту стока (до 3-6 раз в процентах), что характерно для дальневосточных рек с преимущественно дождевым питанием.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-35-50026).

Список литературы

Виноградов Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 311 с.

Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. – Владивосток: Дальнаука, 2008. 421 с.

Гарцман Б.И., Губарева Т.С. Прогноз гидрографа дождевых паводков на реках Дальнего Востока // *Метеорология и гидрология*. 2007. № 5. С. 70–80.

Гарцман Б.И., Лупаков С.Ю. Влияние изменений климата на максимальный сток в бассейне Амура: оценка на основе динамико-стохастического моделирования // *Водные ресурсы*. 2017. № 5. С. 1-11

Гарцман, И. Н. Паводочный сток рек Дальнего Востока / И. Н. Гарцман, В. М. Лыло, В. Г. Черненко. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. - 264 с.

Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: ИВП РАН, 2007. 294 с.

Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Описание макромасштабной структуры поля снежного покрова равнинной территории с помощью динамико-стохастической модели его формирования // *Лёд и Снег*. 2015. Т.55. № 4. С. 61-72.

Калугин А.С Модель формирования стока реки Амур и ее применение для оценки возможных изменений водного режима // Дисс. на соискание степени кандидата геогр. наук // Москва – 2016. с.185

Application of dynamic-stochastic modeling for scenario-based estimation of the Ussuri river maximum flow

***Lupakov S.*[1,3], Gartsman B.[1,2]**

[1] *Pacific Geographical Institute FEB RAS*

[2] *Water Problems Institute RAS*

[3] *Far Eastern Federal University*

darkbelka92@gmail.com

Abstract: This paper deals with estimation of climate changes driven maximum flow regime based on dynamic-stochastic design. Used submodels showed a sufficient quality of simulations.

As main result could be considered the unproportional response of maximum flow characteristics to climate changes impact. Increasing of precipitation volume leads to much greater (difference in percents could reach 3-6 times) response in flow.

Keywords: Modeling, floods, Far East, maximum flow, climate changes

Селевые потоки в малых речных бассейнах юга острова Сахалин и их негативное воздействие на объекты водного хозяйства

Немчинов Е.О., Распутина В.А.
Санкт-Петербургский государственный университет
lerasputina@gmail.com

Аннотация: В данной работе проводилась попытка оценить негативное воздействие селевых потоков, формирующихся на малых горных водотоках, для этого использовалась методика Рагозина. Опираясь на исследования селевых процессов, проведённые Сахалинским филиалом ДВГИ ДВО РАН, и на натурные данные, полученные в ходе производственной практики в июне 2017 года, были определены морфометрические характеристики селевого бассейна и динамические характеристики селевых потоков. На основе проделанной работы сделан вывод, что селевые потоки, формирующиеся в малых речных бассейнах, отрицательно сказываются на водном хозяйстве.

Ключевые слова: Селевые потоки, о. Сахалин, малые горные водотоки, водное хозяйство

Введение

Остров Сахалин является районом, в котором распространены катастрофические природные процессы, среди которых выделяются селевые потоки. Формирование селей на острове происходит в результате особенностей рельефа, климата и геологического строения.

Исследования селевых процессов на малых реках в низкогорье Южного Сахалина, проведенные Сахалинским филиалом ДВГИ ДВО РАН в 1998-2005гг., выявили проблемы, возникающие из-за того, что при расчете характеристик селевых процессов и оценке воздействия на объекты и сооружения не учитывают особенности распределения осадков на горной территории. В данной работе рассматриваются малые горные водотоки Сусунайского хребта и их селеносность.

Постановка проблемы

В традиционном понимании селевые процессы формируются на больших водотоках, но в сочетании большого количества осадков, сильной расчленённости рельефа и литологического состава горных пород селевые потоки могут формироваться на малых водотоках. Особую опасность представляют водотоки, протекающие вблизи населённых пунктов. Примером такой ситуации является г. Южно – Сахалинск.

Наибольшую угрозу городу представляют селевые потоки, формирующиеся на левобережных притоках р. Сусуя. Для изучения был выбран бассейн р. Рогатка, так как на этой реке расположен главный водозабор города.

Необходимо оценивать риск поступления разгрузочного материала в водохранилище, а также косвенное воздействие на него.

Факторы формирования селевых процессов

Территорию о. Сахалин относят к низкогорью, так как отметки рельефа не превышают 1600 м над у.м., но глубина расчленения достигает 1000 м, таким образом эту территорию можно отнести к альпинотипному рельефу.

В регионе формируются селевые потоки всех видов: наносоводные, водоснежные, грязекаменные и грязевые. В среднем объёмы достигают 10 тыс м^3. Максимальные могут превышать 500 тыс м^3.Дальность выброса составляет 16 км (Казаков, Генсиоровский, 2007).

Формирование селевых процессов на Сахалине происходит в результате сочетания нескольких факторов: рельефа (глубина расчленения составляет 500-1000 м, уклоны склонов – 30-50^{o}), геологического строения и гидрометеорологической обстановки.

Геологическое описание бассейна р. Рогатка

В долине реки Рогатка отмечены коренные породы Палеозойской группы, чехол составляют четвертичные отложения. По месту прохождения маршрута выделяется лишь нижняя свита Вальзинской серии Палеозойской группы. Свита представлена хлоритовыми, серицито-хлоритовыми, графитистыми сланцами, также имеются пачки кремнистых сланцев и зеленнокаменно измененных эффузивов. Что касается четвертичных отложений, то они представлены глинами, суглинками.

В русло реки выходит водоносный комплекс нижне-среднепалеозойских образований и водоносный горизонт четвертичных отложений. Водовмещающими породами являются различные метаморфические сланцы. На первых метрах от поверхности отмечается интенсивная трещиноватость пород коренной основы. Питание водоносного комплекса осуществляется за счет атмосферных осадков. Разгрузка – в речные долины и зоны тектонических нарушений. (Генсиоровский, 2011).

Гидрометеорологические факторы, влияющие на формирование селей на о. Сахалин

Сахалинская область находится в зоне действия муссонной циркуляции умеренных широт. Большое влияние на погоду здесь оказывает активная циклоническая деятельность.

Район характеризуется неблагоприятными климатическими условиями, поскольку на его территории выпадает значительное количество осадков.

Годовое количество осадков на Сахалине увеличивается от 500 мм на севере до 1000 мм на юге. Основное количество осадков выпадает во вторую половину лета и в начале осени, а минимальное – во вторую половину зимы. За тёплый период выпадает 65 – 80% годовой суммы осадков. Летние осадки отличаются большой интенсивностью. В конце лета и начале осени наблюдаются выходы глубоких циклонов и тайфунов, приносящих ливневые дожди.

Так как в горах осадков выпадает больше, чем на равнине, важно учитывать градиент осадков с увеличением абсолютной высоты местности. На о. Сахалин все гидрометеорологические станции, по данным которых производятся гидрологические расчёты селевых процессов расположены в интервале абсолютных отметок от 20 до 190 м. Абсолютные отметки водоразделов составляют 300 – 500 м. При прохождении тайфунов «Оджин» и «Филлис» в августе 1981 года сумма осадков по данным гидрометеорологической станции «Южно – Сахалинск», расположенной на высоте 22 м составила 220 мм, а по суммарным осадкомерам, расположенных в Сусунайском хребте в интервале высот 400 – 600 м она же составила более 1000 мм.

В южных и центральных районах о. Сахалин среднее значение вертикального градиента суммы жидких осадков за явление составляет в среднем 40-70 мм на 100 м, а твёрдых 25-90 на 100 м. Максимальное значение вертикального градиента как жидких, так и твёрдых осадков превышает 300 мм на 100 м (Казаков, Генсиоровский, 2007).

Описание места работы и селевых ручьев

В Сусунайском хребте распространены грязекаменные сели. Для обследования селевых процессов были выбраны левые притоки р. Рогатка. Бассейн р. Рогатка изображён на Рис. 1. Полевые исследования проводились в июне 2017 г.

Участок работ располагался в 980 м. выше водохранилища. Было выполнено гидрологическое обследование ручьев – левых притоков р. Рогатка (разбиты 3 гидроствора, два из которых располагались на ручье без названия – притока I порядка р. Рогатка, и 1 на ручье без названия – притока II порядка).

Бассейн р. Рогатка является селеопасным. Наибольшее распространение получили грязекаменные селевые потоки. Объемы зафиксированных селевых потоков превышают

100 тыс. м^3. Максимальная мощность селевых отложений составляет 3,5-4,0 м, а размеры глыб достигают 2 метров.

Рассматриваемые селевые бассейны заложены в притоках I (участок 1) и II порядка (участок 2) р. Рогатка. Селевые отложения представлены глыбово - валунными отложениями с супесчано – суглинистым заполнителем. Валуны и глыбы до 25% представлены серпентенитами и зеленокаменными сланцами, характерными для данного региона (Генсиоровский, 2011).

Методика расчётов

Характеристики селевого бассейна определялись в ходе полевых работ.

Средняя скорость селевого потока (U) рассчитывалась по формуле В.В. Голубцова для связных селей:

$$U = 3{,}75\, h^{0{,}50} i^{0{,}17} \quad (1)$$

где h - средняя глубина потока, i - уклон селевого русла;

Максимальная скорость селевого потока (U_m) рассчитывалась по формуле

$$U_m = 1{,}8U \quad (2)$$

Полное (гидростатическое и гидродинамическое) давление (P) селевого потока на препятствие рассчитывалось по формуле И.И. Херхеулидзе:

$$P = 0.1\rho_c\left(5h + U^2\right) \quad (3)$$

где ρ_c - плотность селя.

Селевой риск оценивался по методике Рагозина, адаптированной для водохранилищ:

$$P = V_c * V_{вдхр}^{-1} \quad (4)$$

где P – вероятность поражения водохранилища селем, V_c – объём селя, $V_{вдхр}$ – объём водохранилища.

Риск поражения единицы объёма опасностью C вычисляется по формуле:

$$R(C) = N(C) * V_m(C) \quad (5)$$

где N(C) – повторяемость опасности (Музыченко, Казакова, 2015).

Результаты

В ходе работ были определены характеристики селевого бассейна: границы, площадь водосбора, максимальная крутизна склонов, экспозиция и протяжённость, на основе чего была построена картосхема бассейна р. Рогатка и участка работ до водохранилища (рис. 1).

На первом участке максимальный размер селевых глыб достигал 1 м; средняя мощность селевых отложений до 1 м, а максимальная мощность до 2 м. Ширина зоны аккумуляции селевых отложений на первом участке составляла 15 м. На втором участке максимальный размер селевых глыб на участке достигал 0,5 м. Мощность селевых отложений до 1 м. Ширина зоны аккумуляции селевых отложений составляла во втором селевом бассейне 10 м.

При слиянии двух селевых потоков образовалась селевая терраса (селевой вал) на правом берегу притока I порядка.

Разгрузка селевых потоков производилась в р. Рогатка в виде распластанных конусов выноса.

Результаты расчётов приведены в таблице 1 «Динамические характеристики селевых потоков».

В результате оценки риска поражения водохранилища, расположенного на р. Рогатка, было определено, что при повторяемости селя 1 раз в 10 лет объёмом 150 м^3 R(C) = 0,0001, что соответствует 3 категории селевого риска (изменение режима эксплуатации объекта (постепенное заиливание, замутнение воды).

Табл. 1. Динамические характеристики селевых потоков

№ селевого участка	I	II
Время добегания селевых потоков по Кавецкому	63	133
Уклон селевого русла, град	35	27
Средняя глубина потока (h), м	1,2	1,2
Макс высота селевой волны, м	3	1,5
Макс скорость связного селя, м/с	13,5	13
Ср. скорость по Голубцову, м/с	7,5	7,2
Плотность связного селя, кг/м^3	2300	2300
Полное давление связного селя на препятсвие по Херхеулидзе	14,32	13,3
Превышение селевого очага, м	400	500
Расстояние от селевого очага, м	854	1735
Площадь створа, м^2	7,3	3,44
Максимальный расход связного селя, м^3/с	98,6	4,7

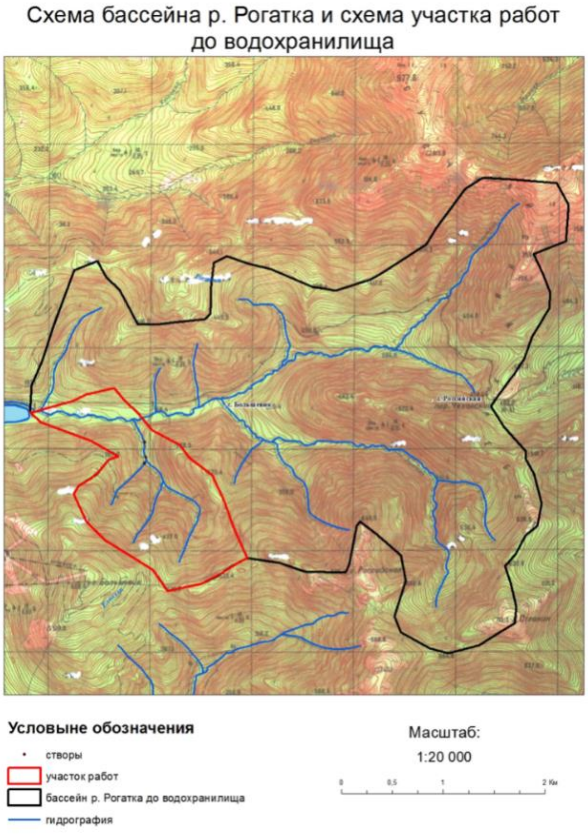


Рис. 1. Бассейн р. Рогатка

Выводы

Основываясь на результатах, было выявлено, что малые горные водотоки способны транспортировать селевые потоки, которые в свою очередь негативно влияют на объекты водного хозяйства. На примере водохранилища на р. Рогатка была использована методика Рагозина, из которой следует, что селевой поток любой обеспеченности негативно повлияет на функционирование водного объекта (заиление, замутнение воды). В экстремальных случаях (тайфун «Оджин» и «Филлис») могут наблюдаться селевые потоки, способные полностью вывести водохранилище из строя.

Список литературы

Генсиоровский Ю.В. Экзогенные геологические процессы и их влияние на территориальное планирование городов (на примере. о. Сахалин): автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2011. 19 с.

Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогорье // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2007, № 4, с. 1-7*

Музыченко А.А., Казакова Е.Н. Ущербы от селевых потоков для малых водохранилищ о. Сахалин и расчёт селевого риска, 2015.

Mudflows in small river basins in southern Sakhalin Island and their negative impact on water objects

Nemchinov E.O., Rasputina V.A.
Saint-Petersburg State University
lerasputina@gmail.com

Abstract: In this paper an attempt was made to evaluate the negative impact of mudflows forming on small mountain streams, using the Ragozin method for this. Based on the mudflow researches carried out by the Scientific Institute of the FEB RAS, and on proper observing during the practice in June 2017, the morphometric characteristics of the mudflow basin and the dynamic characteristics of mudflow stream. On the basis of work, it was concluded that mudflows, which are forming in small river basins, influence on water objects is negative.

Keywords: Mudflows, Sakhalin Island, small mountain rivers, water property

К вопросу о физических аспектах динамики сухих лавин

Осташов А.А., Макушин М.А., Соколова Д.П., Куровская В.А., Кильдибеков Е.С.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
stranger6417@mail.ru

Аннотация: Формирование полноценной физической теории невозможно без наличия большой эмпирической базы данных, на основании которой можно выдвигать гипотезы о динамике лавин. В наше время подобной базой может служить большое количество видеоматериалов, снятых очевидцами схода лавин в различных регионах. Многие теоретические положения о динамике лавин и модели, построенные на малом количестве материалов натурных наблюдений можно подтвердить или опровергнуть, просмотрев и проанализировав видеоматериал. В данной работе с помощью видеохостинга был произведен анализ видеоматериалов о движении лавин и предпринята попытка выявления на их основе физических аспектов процессов лавинообразования и расчета значений динамических характеристик лавин. Выдвинут ряд предположений об особенностях движения лавины. На основе данных предположений можно создать обобщенную модель формирования лавин, которую можно использовать уже для разработки математической модели.

Ключевые слова: Лавина, лавинный процесс, физический процесс

Введение

Физические вопросы динамики лавин по сей день остаются открытыми. Во многом это связано с тем, что представления о начальном этапе формирования лавин и и их движении имеют теоретический характер. Тем не менее, на основе данных представлений сформировано немалое количество гипотез о динамике отрыва и движения. На основе этих гипотез построены модели, позволяющие рассчитать основные характеристики лавин (Козик, 1962). На сегодняшний день не существует удовлетворительных физических моделей лавинного процесса и движущейся лавины, позволяющих с адекватно описать лавину, а существующие математические модели основаны либо на идеальных математических либо на эмпирических представлениях, сильно упрощающих реальную картину и позволяющих описать лавинный процесс с определённой степенью приближённости, что необходимо учитывать при использовании расчётных значений характеристик лавин и лавинных процессов при проектно-изыскательских работах (Казаков и др., 2012).

Формирование полноценной физической теории невозможно без наличия большой эмпирической базы данных, на основании которой можно выдвигать гипотезы о динамике лавин. В наше время подобной базой может служить большое количество видеоматериалов, снятых очевидцами схода лавин в различных регионах.

Целью данной работы является анализ видеоматериалов и выявление физических аспектов процессов лавинообразования.

Материалы и методы

Для достижении цели данной работы использовались видеоматериалы с видеохостинга «YouTube». Сформированные на основе видеоматериалов представления о процессе лавинообразования сравнивались с экспериментальными теориями таких авторов как Урумбаев Н. А., Москалев Ю.Д. (Григорян и др., 1982; Москалев, 1970) После этого выделялись аспекты лавинообразования и определялись значения характеристик лавин, которые стали доступны для анализа с появлением большой видеобазы о сходе движении лавин.

Результаты

Движение лавин – чрезвычайно сложный процесс, который требует отдельного рассмотрения. Учет всех возможных вариантов физического описания движения лавин есть одна из важных задач, которые необходимо ставить при исследовании динамики лавинных процессов, наряду с описанием отрыва как начала лавинного процесса. Однако при всем имеющемся многообразии наиболее точной и удовлетворительной физической модели на данный момент не существует.

Прежде всего, следует ввести ряд предположений, касаемых движения лавинной массы и полученных на основании имеющихся видеоматериалов и литературных источников.

В данном случае рассматривается преимущественно волновой характер движения (Казаков, 2006).

Наблюдения, которые были проведены с использованием видеосъемок очевидцев лавин, дают основания полагать, что движение лавин происходит струйно, причем струйность весьма неравномерна, что выражается в том, что отдельные струи могут вырываться вперед, обгоняя другие, или же затухать.

Исходя из этого, определяются следующие силы, действующие на движущуюся лавинную массу, а именно:

- сила тяжести;
- сила трения о подстилающую поверхность;
- силы сопротивления.

Трение лавины во многом зависит от характера подстилающей поверхности, а также от генетического типа лавины.

В данном случае рассматривается лавина сухого снега, так что речь будет именно о ней. В зависимости от характера подстилающей поверхности, сила трения на различных участках движения лавины может быть различной, что в целом подводит к мысли о зависимости роли силы трения от длины пути лавинной массы.

Под силами сопротивления в данном случае понимаются затрачивание кинетической энергии лавины на преодоление сил сцепления объектов, которые стоят на пути движения снежного потока, и сил инерции (Козик, 1962).

Рассматривая движение лавины, как волновой процесс, следует сделать предположение о возможности использования для их описания системы уравнений Сен-Венана.

Однако у данного предположения есть определенные недостатки, которые следует учитывать. Сама по себе данная система является ничем иным, как описанием неустановившегося движения вязкой жидкости. Однако лавина сухого снега по своей природе не может относиться к вязкой жидкости без введений неких коэффициентов. Кроме того, следует отметить недостаточность необходимой информации для использования данной системы уравнений в расчетах.

Можно выделить составляющие лавины, образующие непосредственно тело лавины: текучую и снежнопылевую. В зависимости в основном от плотности лавинного снега, скорости движения лавины и ускорения лавины, одна составляющая будет превалировать над другой. В процессе движения лавины вниз по склону происходит переход некоторой критической точки. Переход этой критической точки связан с изменением характеристик склона, по которому происходит сход лавины. В частности, это может быть связано с изменением крутизны склона, его шероховатости, а также с характеристиками лавинного снега. Снежнопылевое облако очень инертно, после разгона оно по инерции движется определенный промежуток времени. Подпитка снежнопылевого облака идет из текучей составляющей лавины. При возникающем сильном сопротивлении воздуха идет

фрагментация текучего снега до состояния снежной пыли, из которой, по сути, и состоит снежнопылевая составляющая лавины. При отсутствии текучей составляющей снежнопылевая составляющая лавины начинает останавливаться, движение замедляется даже на крутых участках зоны транзита.

Рис. 1. Пример струйности движения сухой лавины

Образование воздушной волны связано с формированием снежнопылевого облака. Возникновение воздушных волн происходит при переходе движения от ламинарного потока к турбулентному. Воздействие фронта волны на прилегающие слои воздуха приводит к сжатию и вытеснению воздуха перед лавиной. При этом за фронтом образуются так называемы зоны разрежения. В целом, при прохождении лавины происходит чередовании волн сжатия и разряжения воздуха (разреженный воздух за фронтом и сжатый воздух перед фронтом), в процессе этого возможен подток и завихрения. Подобные завихрения могут проявляться гораздо дальше места остановки лавины. Этим может быть объяснены те разрушения, которые приносятся лавиной дальше максимальной дальности выброса.

Согласно всему вышесказанному, можно сделать вывод о сложности движения сухих лавин. Подобный процесс следует описывать исходя из всех его особенностей, а именно движения самой снежной массы в целом и, в частности, её взаимодействием с прилегающими слоями воздуха.

Исследование плотности лавин – важная задача, которая поможет нам понять динамику лавины. Плотность должна быть одной из ключевых величин в расчете высоты фронта лавины. Также от нее зависит угол растекания лавины. Возможно, недооценено влияние центростремительной силы, которая, несомненно, влияет на динамические характеристики лавины.

Кроме того, при расчете динамических характеристик лавин следует учитывать атмосферное давление. Оно влияет на динамические характеристики лавины через сопротивление воздуха. Из-за сильного вертикального градиента атмосферного давления снежнопылевое облако и воздушная волна могут иметь на разных высотах сильно

отличающиеся характеристики. Следует учитывать, также, скорость, и направление ветра, которое также может сильно изменять динамические характеристики сухих лавин.

Выводы

В результате развития медиа технологий мы получаем доступ к новым источникам информации о природных процессах: в частности, лавинах. Многие теоретические положения о динамике лавин, или модели, построенные на малом количестве материалов натурных наблюдений можно подтвердить или опровергнуть, просмотрев и проанализировав видеоматериал. В настоящее время существует в основном качественный анализ видеоматериала, однако, возможен и количественный. Именно в этом направлении стоит работать дальше.

На основе выявленных физических аспектов и теорий лавинообразования таких авторов, как *Москалев* Ю.Д и Урумбаев Н.А. (Григорян и др., 1982; Москалев, 1970) следует создать обобщенную модель лавинообразования, которую впоследствии можно использовать для создания математической модели лавинообразования прогноза схода лавин.

Список литературы

Григорян С.С., Урумбаев Н.А., Некрасов И.В. Экспериментальное исследование лавинной воздушной волны. Материалы гляциологических исследований. Вып. 44 - М., 1982, С.87-93;

Казаков Н.А. Лавинный фронт как уединенная волна-солитон. Материалы гляциологических исследований. Вып. 100 - М., 2006, С.176-179;

Казаков Н.А, Генсиоровский Ю.В., Казакова Е.Н. Лавинные процессы в бассейне реки Мзымты и проблемы противолавинной защиты Олимпийских объектов в Красной Поляне //Геориск, № 2, 2012. С. 10-29.

Козик С.М. Расчет движения снежных лавин. Л.: Гидрометеоиздат, 1962, 74 с.;

Москалев Ю. Д. О возникновении воздушных лавин при движении лавин.Материалы гляциологических исследований. Вып. 16 - М., 1970, С.57-62.

To the issue of physical aspects of the dry avalanches dynamics

Ostashov A.A., Makushin M.A., Sokolova D.P., Kurovskaia V.A., Kildibekov E.S.
St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
stranger6417@mail.ru

Abstract: Creating comprehensive physical model is infeasible without empiric data bases from which it is possible to propose hypotheses about the dynamics of avalanches. Nowadays a large number of video materials shot by eyewitnesses of avalanches in various regions can be used as similar base. Most theoretical assumptions of avalanche dynamics and models are based on a small amount of field observations which can be confirmed or disproved by viewing and analyzing the video .In this research, video materials were analyzed on the movement of avalanches and an attempt was made to identify physical aspects of avalanche processes and to calculate the values of the dynamic characteristics of avalanches. Also, range of assumptions about the special features of avalanche movement was defined. Basing on these assumptions a generalized model of avalanche formation can be created, that might be used to develop a mathematical model.

Keywords: avalanche, physical process, process of avalanching.

Моделирование максимальных расходов воды дождевых паводков на малых горных водосборах Северо-Востока России

Пашовкина А.А.[1], ***Макарьева О.М.***[1,2,3,4]
[1] *Санкт-Петербургский государственный университет*
[2] *Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск*
[3] *ООО НПО Гидротехпроект, Санкт-Петербург*
[4] *Государственный Гидрологический институт, Санкт-Петербург*
asyapashovkina@gmail.com

Аннотация: Целью работы является оценка применимости детерминированной гидрологической модели «Гидрограф» для моделирования срочных максимальных расходов воды дождевых паводков на малых горных водосборах арктической зоны России с использованием данных плювиографов. На примере водосбора руч. Контактовый, расположенного на территории Колымской водно-балансовой станции (КВБС), и его части – водосбора ручья Морозова, было реализовано моделирование, включившее следующие этапы: оцифровку и систематизацию данных плювиографов и данных срочных расходов воды; моделирование расходов дождевых паводков с использованием данных плювиографов. При анализе результатов было выявлено, что стандартная метеорологическая информация, доступная в России, не подходит для моделирования случаев выпадения экстремального количества осадков, но применима для моделирования в обычных условиях. Также было подтверждено, что модель «Гидрограф» применима для моделирования расходов воды паводков на малых водосборах в горных районах и дает удовлетворительные результаты. Использованный метод моделирования с использованием данных плювиографов может в будущем служить способом получения данных для проектирования и строительства в условиях отсутствия рядов наблюдений.

Ключевые слова: модель «Гидрограф», максимальный сток, осадки, дождевые паводки, многолетняя мерзлота

Введение

Расчет характеристик стока при инженерно-изыскательских работах, проектировании и оценке величины и повторяемости катастрофических паводков в условиях изменения гидрологического режима, а также ограниченности и крайней сложности наблюдений сегодня представляет собой серьезную научно-практическую проблему.

Возможным решением может стать создание и развитие комплексных гидрологических моделирующих систем и методов их параметризации в условиях наличия, ограниченности или отсутствия данных наблюдений. Так целью данной работы является оценка применимости детерминированной гидрологической модели «Гидрограф» для моделирования максимальных расходов воды дождевых паводков на малых горных водосборах с использованием метеорологических данных различного временного разрешения.

Моделирование было проведено для ручья Контактовый, протекающего на территории Колымской водно-балансовой станции (КВБС), и для впадающего в него ручья Морозова.

Материалы и методы

Для изучения прямого воздействия на режим стока дождевых осадков использовалась детерминированная модель «Гидрограф». С целью оценки, систематизации и обобщения параметров модели для выбранных водосборов был реализован подход, включающий в себя выделение стокоформирующих комплексов (СФК), оценку их параметров по

историческим данным КВБС, сбор и анализ данных, характеризующих процессы формирования стока на выбранных водосборах.

На этапе моделирования процессов на масштабе склона происходило уточнение параметров СФК – глубин протаивания и промерзания, температуры и влажности почвы, характеристик снежного покрова. Полученные параметры использовались при моделировании гидрографов стока и элементов водного баланса.

В работе использовалась параметризация модели, выполненная О.М. Макарьевой и Л.С. Лебедевой.

Объекты исследования

Ручей Контактовый. Водосбор впадающего в р. Правый Итрикан (приток р. Итрикан, впадающей в р. Кулу) ручья Контактовый, имеет большое разнообразие почвогрунтов и растительного покрова на территории водосбора. Ручей протекает по территории КВБС (Тенькинский район, Магаданская область), действовавшей в период с 1948 по 1997 год (по сегодняшний день наблюдения на территории ведутся на гидрологическом посту и метеостанции). Площадь водосбора составляет 21,3 км^2, средняя высота – 1070 м, при максимальной, достигающей 1700 м. Водосбор ручья Контактовый включает в себя водосборы ручьев Северного, Южного и Морозова. Важным фактором является расположение рассматриваемого водосбора в зоне многолетней мерзлоты. Глубина сезонно-талого слоя здесь колеблется в пределах от 0,3 до 2,5 м в зависимости от положения на склоне и ландшафта.

Ручей Морозова. Водосбор руч. Морозова, являющийся правым притоком руч. Контактового, практически лишен растительности и полностью сложен каменными осыпями. Водосбор имеет площадь 0,63 км2, его высота в среднем составляет 1370 м. Склоны имеют преимущественно северную экспозицию, их максимальный уклон достигает 50º, а средний составляет около 33º. Поверхность водосбора сложена крутыми глыбово-щебнистыми осыпями, с глубиной состав отложений резко меняется за счет заполнения пор песчано-супесчаным материалом. В зависимости от содержания мелкозема и экспозиции склона глубина протаивания колеблется от 0,7 до 2,3 м. Максимальная водоудерживающая способность грунтов очень мала.

По данным метеоплощадки Нижняя (1948-1995), среднегодовая температура в районе расположения рассматриваемых объектов составляет -11,4°С (Сущанский, 2002). Количество осадков на территории станции изменяется в диапазоне от 290 до 460 мм.

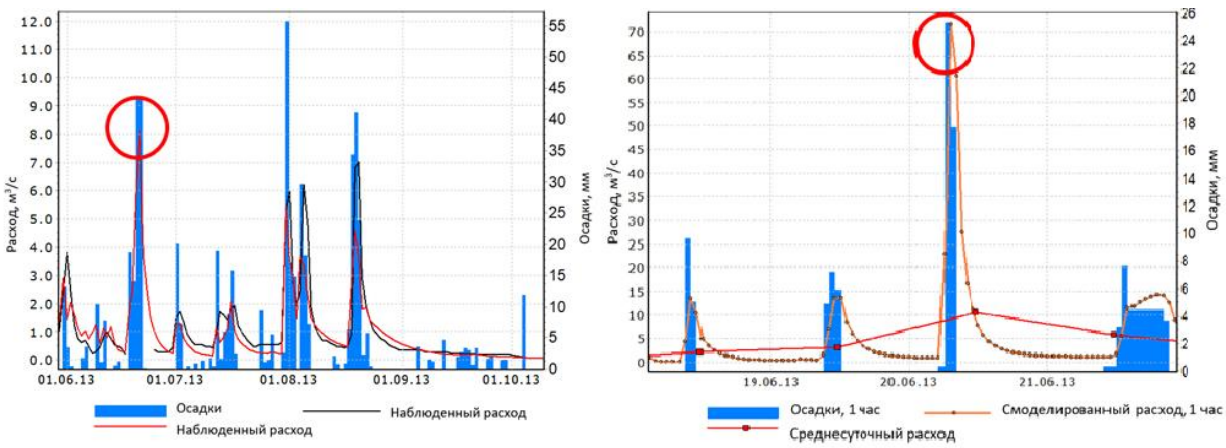
Результаты

Для конкретного случая катастрофического паводка, произошедшего на руч. Контактовый в июне 2013 года было проведено моделирование среднесуточного и срочного расходов воды. Во время прохождения, паводок разрушил установленный на территории водосбора ручья Контактовый самописец уровней воды. Это привело к тому, что максимальный срочный расход за 70 лет наблюдений не был оценен.

С использованием суточных данных по осадкам, а также часовых данных по осадкам по данным плювиографов удалось провести оценку означенных параметров.

При моделировании по суточным данным полученный среднесуточный расход составил 8,13 м^3/с, что практически соответствует максимальному среднесуточному расходу (8,15 м^3/с), наблюденному в 2005 году.

Следующим шагом были получены те же параметры, но уже с использованием данных плюфиогафов с часовым разрешением. Значение срочного расхода составило 71,5 м^3/с, в то время, как его предыдущее значение было оценено всего в 19,5 м^3/с. Максимальный среднесуточный расход в свою очередь составил 10,4 м^3/с, что превышает ранее наблюденное значение (8,2 м^3/с) на 22%.

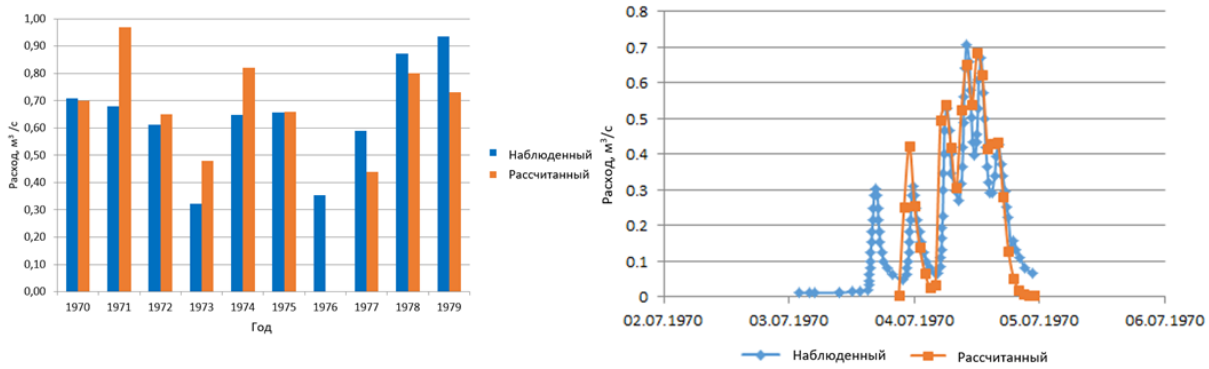


а) б)

Рис. 1. Результаты моделирования для ручья Контактовый – Нижний (2013): а) с использованием суточных данных по осадкам; б) с использованием данных плювиографов с часовым разрешением.

Для ручья Морозова было проведено моделирование срочных максимальных годовых расходов воды дождевых паводков за период с 1970 по 1979 год. Помимо этого, был отдельно смоделирован дождевой паводок, проходивший с 3 по 4 июля 1970 года.

Полученные результаты моделирования были оценены как удовлетворительные.



а) б)

Рис. 2. Результаты моделирования для ручья Морозова: а) наблюденный и смоделированный срочный максимальный годовой расход дождевых паводков, 1970-1979; б) наблюденный и смоделированный дождевой паводок, 3-4 июля 1970 года.

Выводы

На основании полученных материалов, было установлено, что модель «Гидрограф» применима для моделирования расходов воды дождевых паводков на малых горных водосборах и дает удовлетворительные результаты.

Кроме того, было установлено, что: 1) стандартная метеорологическая информация, доступная в России, не подходит для моделирования случаев выпадения экстремального количества осадков, однако результаты моделирования с ее использование являются удовлетворительными в обычных условиях; 2) данные плювиографов могут быть использованы для получения и анализа характеристик катастрофических паводков в разных географических условиях, а также верификации гидрологических моделей; 3) используя данные плювиографов, можно рассчитать величину срочного расхода воды для инженерно-изыскательских нужд, в случаях, когда наблюдения за стоком отсутствуют, 4) в районах России, где широко распространено такое явление, как катастрофические паводки, требуется установка автоматизированных метеорологических станций.

Моделирование гидрологических характеристик может в будущем служить достойным конкурентом и альтернативой статистическим методом обработки данных, средством прогноза изменений гидрологического цикла и, в частности, опасных гидрологических явлений в условиях нестабильной окружающей среды, а также способом получения данных для проектирования и строительства в условиях отсутствия или ограниченности рядов наблюдений.

Список литературы

Olga Makarieva, Nataliia Nesterova, Lyudmila Lebedeva, and Sergey Sushansky Earth Syst. Sci. Data Discuss, 2017. Электронный ресурс: https://doi.org/10.5194/essd-2017-125 (дата обращения 24.02.2018)

Semenova, O., Lebedeva, L., Vinogradov, Yu. Simulation of subsurface heat and water dynamics, and runoff generation in mountainous permafrost conditions, in the Upper Kolyma River basin, Russia // Hydrogeology Journal, 21(1), 2013. – P.107-119 DOI: 10.1007/s10040-012-0936-1

Куприянов В. (ред.). Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 19. Северо-Восток. - Л.: Гидрометеоиздат, 1969. - 284 с.

Лебедева Л.С., Макарьева О.М. Пространственная неоднородность элементов водного баланса в горных водосборах Северо-Востока России (на примере Колымской водно-балансовой станции) // Метеорология и гидрология, 2017

Лебедева Л.С. Моделирование процессов формирования стока в малоизученных бассейнах зоны многолетней мерзлоты на основе данных экспериментальных и репрезентативных водосборов: Магистер. дис. С.-Петербург, 2012, 93 с.

Пугачев А.А. Почвенно-растительный покров территории Колымской водно-балансовой станции // Факторы формирования общего стока горных рек в Субарктике. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002 С. 141–166.

Сущанский С.И., Глотов В.Е., Глотова Л.П. Многолетние, сезонные и суточные изменения стокоформирующих факторов и общего водного стока руч. Контактовый. Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской водно-балансовой станции). – Магадан, 2002

Modeling of the maximum water discharges of rainfall floods at small rivers in mountain conditions of the North-East Russia

***Pashovkina A.A.*[1], *Makarieva O.M.*[1,2,3,4]**
[1] *St. Petersburg State University*
[2] *Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk*
[3] *Gidrotehproekt Ltd., St.Petersburg*
[4] *State Hydrological Institute, St. Petersburg*
asyapashovkina@gmail.com

Abstract: The aim of the study is to estimate applicability of the deterministic hydrological "Hydrograph" model for modeling maximum water discharges generated by rainfall floods at small mountain catchments areas of the Arctic zone using meteorological data with different time resolution.
As the objects of the modeling were chosen the basin of the Kontaktovy creek, located on the territory of the Kolyma Water Balance Station (KWBS), and its part - the Morozova creek basin. It included the following steps: digitization and systematization of pluviographs data and instant water discharge data; simulation of rainfall floods using the data of the pluviographs. According to the analysis of the results, it was revealed that the standard meteorological information available in Russia is not suitable for simulating rainfall floods in cases of extreme precipitation, but it is applicable for modeling in normal conditions. Also, it was confirmed that the "Hydrograph" model is applicable for modeling maximum water discharges generated by rainfall floods at small mountain catchments areas and gives satisfactory results. The method of modeling using the pluviographs data, which was used in the research, may in the future serve as a method of obtaining data for design and construction in cases of the absence of series of observations.

Keywords: Hydrograph model, maximum flow, precipitation, rainfall floods, permafrost

Карты гидрологического риска в атласе опасных природных явлений Алтайского края

Ротанова И.Н., Харламова Н.Ф., Барышников С.Г.
Алтайский государственный университет, Барнаул
sbaryshnikov18@gmail.com

Аннотация: Для Алтайского края проблема опасных природных явлений является очень актуальной. В Алтайском государственном университете выполняются работы по созданию регионального Атласа опасных природных явлений. В разрабатываемом Атласе значительное внимание уделяется гидрологическим опасным явлениям, в частности, экстремальным. Тематика карт Атласа посвящена как гидрологическим условиям территории Алтайского края, так и гидрологическим опасностям и рискам. Среди сюжетов карт, отражающих гидрологический риск, в Атласе представлены: гидрологическая сеть Алтайского края, гидрологический режим рек и озер, среднемноголетние сроки появления ледяных образований на реках, сроки установление ледостава, сроки вскрытия рек и их очищения ото льда, высокий уровень воды, низкий уровень воды, весеннее половодье, наводнения и паводки, наледные явления и др. Существенное внимание в Атласе уделено не только режимным характеристикам опасных гидрологических явлений, но и отдельным гидрологическим объектам, наиболее характерным и чрезвычайным случаям. Одним из водосборных бассейнов, где наиболее часто происходят чрезвычайные гидрологические ситуации, является водосбор реки Чарыш – левый, один из наиболее крупных, приток р. Оби на территории Алтайского края. Составлены геоинформационные карты экстремальных гидрологических ситуаций в бассейне р. Чарыш. Атлас опасных природных явлений Алтайского края создается впервые. Он является продуктом, синтезирующим и систематизирующим накопленный обширный объем материалов. Работы по его созданию являются логическим продолжением исследований, посвященных изучению опасных природных явлений в регионе.

Ключевые слова: опасные природные явления, атлас опасных природных явлений, Алтайский край, природный риск, гидрологический риск, гидрологическая безопасность.

Введение

Наблюдаемое увеличение количества чрезвычайных ситуаций (ЧС) гидрологического характера вызывает необходимость более активно изучать предпосылки и условия их образования, характеристики и особенности их пространственно-временного распространения, проводить мониторинг, а также прогнозировать возможности их появления. Большое значение и перспективы при решении задач комплексной оценки подверженности территорий опасным природным явлениям и связанными с ними чрезвычайными ситуациями имеет геоинформационно-картографический метод исследований. Атласное картографирование опасных природных явлений на региональном уровне, выполняемое как ГИС-проект, имеет в своем инструментарии функциональные возможности, позволяющие анализировать и визуализировать различные характеристики, определяющие появление гидрологических опасных явлений и чрезвычайных ситуаций. Для Алтайского края проблема опасных природных явлений является очень актуальной. Здесь возможны более 25 видов опасных природных явлений, которые способны нанести значительный материальный и экологический ущерб, среди них значимое место занимают опасные гидрологические и гидрометеорологические явления (ОГМЯ).

Материалы и методы

Атласное картографирование опасных природных явлений обеспечивает интеграцию территориальных, компонентных и временных показателей при разработке инвентаризационных, аналитических, оценочных, прогнозных, рекомендательных карт, а в геоинформационном исполнении – создание соответствующих баз данных.

В 2005 г. вышел в свет первый в российской истории «Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации» (Атлас, 2005), подготовленный Министерством ЧС РФ совместно с РАН. Позднее, в рамках реализации федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года» составлен и издан обновленный вариант атласа (Атлас, 2010). Основное место в атласах занимают тематические карты с сюжетным контентом. При создании карт используются различные подходы в зависимости от вида рассматриваемого опасного явления. Немалая часть карт в них посвящена гидрологическим опасностям и рискам.

В 2016 году в Пермском госуниверситете был подготовлен первый в России региональный атлас опасных гидрометеорологических явлений, первоначально как ГИС-проект. Цель его создания – представление наиболее полной пространственной характеристики различных видов ОГМЯ, а также их последствий, наблюдающихся на территории Уральского Прикамья (Пьянков и др., 2016). Важной особенностью атласа является использование при его создании широкого набора данных, включающего гидрометеорологические наблюдения, многолетние ряды результатов космического мониторинга, данные реанализа и мезомасштабного атмосферного моделирования. Таким образом, решается основная проблема картографирования ОГМЯ на региональном уровне, заключающаяся в дефиците исходной информации. Атлас Уральского Прикамья представляет собой не только целостную совокупность картографических, иллюстративных материалов и космофотокарт, но и совокупность связанных между собой баз данных, в которых отражено современное состояние климата и гидрографической сети региона, а также закономерности пространственно-временного распределения ОГМЯ, что дает возможность выполнять геоинформационное и математико-картографическое моделирование.

При разработке концепции «Атласа опасных природных явлений Алтайского края» учитывался опыт создания уже реализованных картографических произведений. Структурно атлас включает пять разделов, посвященных общегеографической характеристике региона исследования, климатическим, геоморфологическим и гидрологическим условиям; природным опасностям и рискам – опасным метеорологическим, геоморфологическим, и гидрологическим явлениям, включая характерные негативные последствия этих явлений; нозогеографическому статусу территории, а также организации предупреждения и ликвидации последствий опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций (Ротанова и Харламова, 2016; Ротанова и др., 2016а; 2016б; Харламова и др., 2016).

Информационной основой для создания Атласа послужили: данные метеорологических наблюдений из «Метеорологических ежемесячников» (1981-2015 гг.); архивы метеоданных для климатических исследований из фондов ВНИИГМИ-МЦД и Интернет-ресурсов; оперативные и архивные данные космической съемки (архивы Географического факультета АлтГУ, Лаборатории космического мониторинга и вычислительных технологий АлтГУ, открытых Интернет-каталогов); фондовые материалы Географического факультета АлтГУ; цифровые векторные карты М 1:1 000 000, М 1:500 000; – база данных об опасных явлениях погоды Росгидромет (http://meteoinfo.ru/); материалы, ранее опубликованные в Атласах Алтайского края (1978, 1991) и др. Свод ОГМЯ базируется на классификации и критериях, принятых Западно-

Сибирским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в частности, Алтайским ЦГМС.

Используемые подходы включают такие основополагающие составляющие, как: базы данных, строящиеся по совокупности взаимосвязанных показателей климатических условий, гидрологических данных, геолого-геоморфологических процессов и т.д.; картографические модели, основывающиеся на территориальном анализе посредством методов геоинформационного картографического моделирования (Ведухина и Ротанова, 2005; Ловцкая и др., 2007).

Масштабы карт атласа определялись, исходя из особенностей отображаемого явления, размера и конфигурации территории Алтайского края. С учетом этого для общегеографических карт региона был выбран масштаб 1:3 000 000, для большинства карт явлений, а также последствий от их воздействия, отображаемых в пределах всего края, - масштабы 1:3 500 000 и 1:5 000 000.

Обработка пространственных и статистических данных, создание компоновок карт выполняется в программном обеспечении ArcGIS.

Для комплексного отражения опасных природных явлений в состав атласа включены следующие группы научно-справочных карт: типологические карты для основных компонентов природной среды; частнонаучные карты узкой тематики для явлений, имеющих наибольшее негативное значение; оценочные карты; карты зонирования; прогнозные карты.

Тематика, сюжеты и содержания карт гидрологического риска

Тематика карт атласа посвящена как гидрологическим условиям территории Алтайского края, так и гидрологическим опасностям и рискам. В атласе наибольшее внимание уделяется гидрологическим опасным явлениям. Они отображены в серии карт: Опасность и риск весеннего половодья, Опасность и риск наводнений, Опасность и риск ледовых заторов, Опасность и риск маловодья на реках. Опасность изменения уровня грунтовых вод, Опасность и риск наледей, Опасность и риск заторов и зажоров, Опасность и риск подтоплений населенных пунктов, Аномалии водного стока и др.

Аномалии водного стока оказывают значительное влияние на условия и возможности хозяйственного использования водных объектов, а также вероятность возникновения гидрологических рисков. К аномалиям водного стока относятся маловодье, пересыхание, перемерзание рек, а также заболачивание территорий. В основу построения карты положена методика Н.И. Коронкевича с соавторами для картографирования опасности и риска маловодья на реках (Атлас, 2005). На карте аномалий стока показаны ареалы с различной эпизодичностью перемерзания и пересыхания рек. Перемерзание и пересыхание различной эпизодичности выявляется для рек на основе анализа средних месячных расходов воды для лет с различной обеспеченностью (маловодных, средних и многоводных).

На карте опасности и риска наводнений выделяются зоны, где наиболее часто происходят опасные события, причиняющие материальный ущерб промышленным и сельскохозяйственным объектам, наносящие урон здоровью населения или приводящие к гибели людей. Показателями опасности наводнений являются: повторяемость превышения уровня воды в наводнение критического уровня (%); мощность наводнения, определяемая превышением максимальных зафиксированных уровней над критическим (в метрах) и максимальным временем стояния воды выше критического уровня за год (в сутках). Уровни опасности создают чрезвычайные ситуации различного территориального уровня (муниципального/межмуниципального, регионального). Для отображения зонирования по показателю уровня опасности наводнений используется способ качественного фона в сочетании со способом картограммы.

Карта прогнозного изменения водности речных бассейнов отображает средние многолетние годовые расходы воды (норму стока) различной обеспеченности для настоящего времени (2015 г.), а также на 2020 и 2030 гг. Построение карты производилось согласно расчетам. Прогнозный расчет водности выполнен: для норм стока настоящего времени на основе кривых распределения вероятностей стока с учетом репрезентативности рядов; для прогнозируемых норм стока в 2020 и 2030 гг. В качестве стандартных квантилей кривых распределения вероятностей стока выбраны следующие: для многоводных лет – 1%, 25%; для маловодных лет, периодов, сезонов и месяцев 90%, 99%; для средних по водности лет – 50%. Для отображения использован метод диаграмм, отнесенных к репрезентативным (длиннорядные посты) гидрологическим створам рек Алей, Бия, Катунь и др. (Ведухина и Ротанова, 2005; Ловцкая и др., 2007).

Внимание в атласе уделено отдельным гидрологическим объектам. Одним из водосборных бассейнов, где наиболее часто происходят чрезвычайные гидрологические ситуации, является водосбор реки Чарыш – одного из наиболее крупных притоков р. Оби на территории Алтайского края (Ротанова и Обласов, 2016а). С целью анализа опасных гидрологических явлений в бассейне Чарыша построена ЦМР его водосбора (Ротанова и Обласов, 2016б). ЦМР послужила основой для определения зон возможного затопления при паводковых ситуациях с привлечением материалов GPS съёмки, полученных в полевых условиях. ЦМР обладает достаточным объемом информации для определения общего рисунка сети стока в водосборном бассейне и выявления потенциально затопляемых участков в пойменной части. Моделирование гидрологических характеристик бассейна р. Чарыш производится в ArcGIS с помощью инструмента Hydrology, модуля пространственного анализа Spatial Analyst. Выделены зоны потенциального затопления, которые охватывают пять сёл Чарышского района. Покрытие ЦМР ландшафтной картой позволяет наполнить выделенные контуры на данной карте дополнительной информацией, выявить участки возможного развития опасных экзодинамических процессов (линейной эрозии, плоскостного смыва и т.д.) (Ротанова и Обласов, 2016в).

Выводы

Атлас опасных природных явлений Алтайского края создается впервые. Работы по его созданию являются логическим продолжением всех работ по изучению опасных природных явлений, выполненных в регионе. Атлас может быть рассмотрен как составная региональная часть электронного атласа устойчивого развития РФ, целью которого является представление геоинформационного пространства для разработки и совершенствования системы управления, в том числе природными рисками. Атлас закладывает основы для дальнейшей работы по созданию его расширенной Интернет-версии в виде геопортала или веб-атласной информационной системы. Он будет способствовать обеспечению реализации приоритетных задач по информатизации Алтайского края и созданию единого информационного пространства в рамках создания региональных ГИС Государственной программы «Безопасный регион».

Список литературы

Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под общей редакцией С.К. Шойгу // Москва. ИПЦ «ДИК». 2005.

Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация // Москва. МЧС России. ВНИИПО. ИПЦ «ДИК». 2010.

Ведухина В.Г., Ротанова И.Н. Картографический анализ водно-экологических проблем Алтайского края в целях оптимизации водопользования и водоохранной деятельности // Ползуновский вестник. № 4-2. 2005: 107-113.

Ловцкая О.В., Ротанова И.Н., Суторихин И.А. Математико-картографическое обеспечение создания геоинформационно-аналитической системы «Вода и экология Сибири» // Вычислительные технологии. Т. 12. № S3. 2007: 65-71.

Пьянков С.В., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. Опыт создания регионального атласа опасных гидрометеорологических явлений (на примере Уральского Прикамья) // Географический вестник. № 1 (36), 2016: 120-131.

Ротанова И.Н., Обласов В.А. Анализ опасных гидрологических явлений с применением ГИС (на примере реки Чарыш) // Записки Усть-Каменогорского филиала Казахского Географического Общества: материалы международной научно-практич. конф. (18-19 января 2016 г., г. Усть-Каменогорск). Усть-Каменогорск: Шыгыс Полиграф, Вып. 10, 2016а: 108-117.

Ротанова И.Н., Обласов В.А. Цифровое моделирование рельефа речных бассейнов для исследования опасности наводнений (на примере р. Чарыш) // Геоморфологи: Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. Вып. 6. М.: Медиа-ПРЕСС, 2016б: 35-39.

Ротанова И.Н., Обласов В.А. Анализ предпосылок наводнений в бассейне реки Чарыш с применением геоинформационного картографирования // ИнтерЭкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Международный научный конгресс, 20-22 апреля 2016 г., Новосибирск: 7-я Международная конференция «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху «Больших данных»»: сб. материалов. Новосибирск: СГУГиТ, № 7, 2016в: 9-15.

Ротанова И.Н., Харламова Н.Ф. Диагностика изменений характеристик водного режима рек бассейна Верхней Оби в условиях нестационарности климата // Вторая всероссийская конференция «География, общество, окружающая среда» по результатам совместных конкурсов РФФИ и РГО, 31 мая - 1 июня 2016 г., Москва, 2016: 42-43.

Ротанова И.Н., Харламова Н.Ф., Гайда В.В., Плехова А.В., Вагнер А.А. The concept and approaches to the creation of the Atlas of natural hazards of Altai krai // Modern Information Technologies in Earth Sciences : Proceedings of the IV International Conference, 7-11 August 2016, Yuzhno-Sakhalinsk. Vladivostok. 2016а: 81-82.

Ротанова И.Н., Харламова Н.Ф., Плехова А.В., Поддубнова Е.А. Картографический проект "Атлас опасных природных явлений Алтайского края" // Сб. тез. Всерос. научн. Конф. «Международный год карт в России: объединяя пространство и время», Москва, РГБ, 25-28 октября 2016 г. М.: ГФ МГУ, 2016б: 250-252.

Харламова Н.Ф., Ротанова И.Н., Плехова А.В., Казарцева О.С. Экстремальные гидрологические явления в атласе опасных природных явлений Алтайского края // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: материалы междунар. научно-практ. конф. 22-24.09.2016. Книга 2. Алматы, 2016: 423-429.

Hydrological risk maps in the atlas of natural hazards in Altai krai

Rotanova I.N., Kharlamova N.F., Baryshnikov S.G.
Altai state university
rotanova07@inbox.ru

Abstract: In the light of global climate change, its manifestations for Russia and its potential environmental and socio-economic impacts especially important are changes in the hydrological regime in basins of Siberian rivers. Vulnerability of water resources due to the high sensitivity and immediate response of the hydrological regime on climate change. For the Altai region the problem of natural hazards is very important. In the Altai state University are working to create a regional Atlas of natural hazards. In developing the Atlas considerable attention is paid to hydrological hazards, particularly extreme. The thematic maps of the Atlas devoted to the hydrological conditions of the territory of the Altai territory, and hydrological hazards and risks. Among the subjects of maps reflecting the hydrological risk, the Atlas presents: the hydrological network in Altai region, the hydrological regime of rivers and lakes, mean annual time of appearance of ice formations on the rivers, the timing of the establishment of ice cover, timing of ice cover break-up and purification by ice, high water, low water, spring tide, floods and floods, the icy events, etc. A major focus for the Atlas is given not only the performance characteristics of hydrological hazards, but some hydrological objects, the most typical and extreme cases. One of the watersheds, where the most frequently occurring extreme hydrological situation is the catchment of the river Charysh – left, one of the largest, tributary of the Ob river in the Altai territory. Geoinformation maps of extreme hydrological situations in the basin of the river Charysh. Atlas of natural hazards in Altai region is created for the first time. It is the product of synthesizing and systematizing accumulated a vast amount of material. Work for its establishment are the logical continuation of research devoted to the study of natural hazards in the region.

Keywords: natural hazards, Atlas of natural hazards, Altai Krai, environmental risk, hydrological risk, hydrology stability.

Формы склоновых селевых бассейнов на морских террасах о. Сахалин и их зависимости от литологического состава горных пород

***Рыбальченко С.В.*[1], *Верховов К.В.*[2]**
[1]*ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал*
[2]*МКУ «Управление капитального строительства»*
rybalchenko_sv@mail.ru

Аннотация: На основе особенностей геоморфологического строения и литологического состава горных пород впервые разработана классификация форм склоновых селевых бассейнов на морских террасах о. Сахалин, в соответствии которой выделено 5 форм селевых бассейнов: промоина, линейный овраг (врез), извилистый врез, денудационная воронка, ромбовидный овраг. Каждую из форм склоновых селевых бассейнов можно классифицировать в соответствии с таксономическими уровнями: класс - структура рельефа; подкласс – тип морского берега; тип – литологический комплекс горных пород; подтип – форма склонового селевого бассейна. На основе данной классификации составлена карта-схема геосистем склоновых селей на морских террасах о. Сахалин.

Ключевые слова: литологический комплекс, селевой поток, склоновый селевой бассейн.

Введение и постановка задачи

На территории о. Сахалин значительная часть населенных пунктов и объектов транспортной инфраструктуры расположены в прибрежной зоне. Однако объекты, расположенные на морских террасах, зачастую оказываются под воздействием склоновых экзогенных процессов, наиболее опасными из которых являются склоновые сели. Они отличаются внезапностью, высокими скоростями и дальностью выброса даже при небольших объемах (первые тыс. $м^3$) (Рыбальченко, Верховов, 2017). Склоновые сели широко распространены на побережье Южного и Среднего Сахалина (Рыбальченко, 2013). Стоит отметить, что склоновые селевые бассейны обладают значительным разнообразием форм и морфометрических характеристик, а формирующиеся в них сели имеют различный вещественный состав, скорости, объемы, дальности выброса и частоту формирования.

Формы склоновых селевых бассейнов

Авторами выделено пять типов склоновых селевых бассейнов (Рис. 1в), соответствующих разным эрозионным и денудационным формам рельефа: промоина, линейный овраг (врез), извилистый врез, денудационная воронка, ромбовидный овраг. Склоновые селевые бассейны, являющиеся линейными эрозионными формами рельефа, в рыхлых породах представлены элементами овражно-балочной сети (оврагами), а в литифицированных горных породах эрозионными врезами.

Промоины (Рис. 1в(1)) являются элементарными склоновыми селевыми бассейнами. Они представлены узкими, неглубокими и протяженными эрозионными формами микрорельефа с отвесными или субвертикальными бортами, простирающимися по всей длине склона. Продольный профиль промоины повторяет профиль склона, а площадь водосбора может иметь значительные размеры.

Линейные овраги (врезы) (Рис. 1в(2)) близки к промоинам, однако обладают менее крутыми бортами. Линейный овраг (врез), как правило, развивается за пределы склона по поверхности террасы.

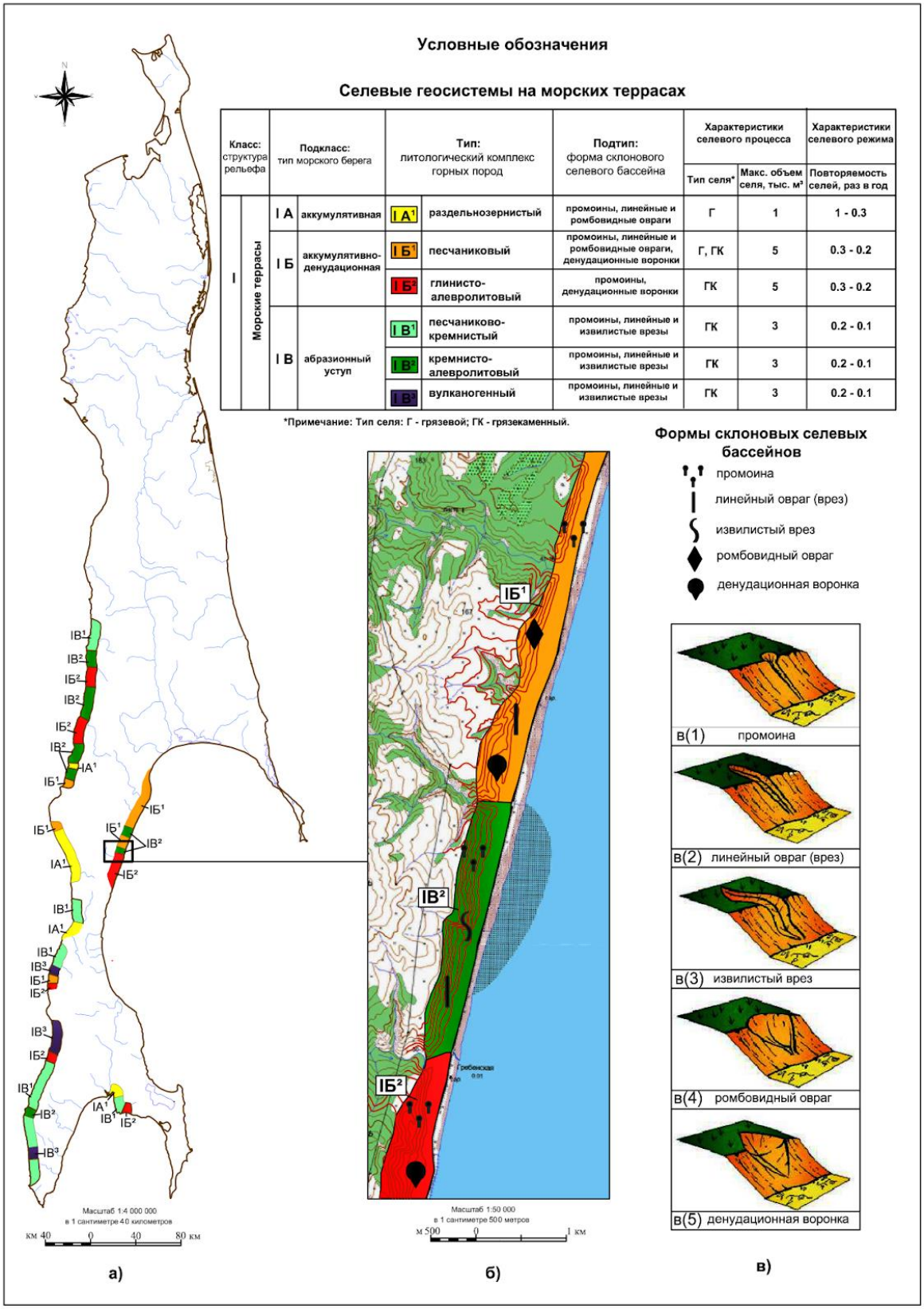


Рис. 1 а) Карта-схема геосистем склоновых селей на морских террасах о. Сахалин в масштабе 1:4 000 000. б) Карта-схема геосистем склоновых селей на морских террасах восточного побережья Среднего Сахалина в масштабе 1:50 000. в) Формы склоновых селевых бассейнов

Извилистые врезы (Рис. 1в(3)) представлены протяженными водосборами, ширина которых больше ширины линейных врезов за счет развитой в пределах бассейна боковой эрозии. Борта их более пологи и близки к углу естественного откоса слагающих пород. Извилистые врезы простираются далеко за пределы склона по поверхности морской террасы.

Денудационные воронки (Рис. 1в(4)) представлены короткими и широкими водосборами с очень пологими бортами.

Ромбовидные овраги (Рис. 1в(5)) близки к денудационным воронкам, однако обладают более вытянутым водосбором, простирающимся по поверхности террасы, и крутыми бортами, с активными процессами денудации.

Во всех видах оврагов и врезов преобладает эрозионно-сдвиговый селевой процесс, в денудационных воронках сдвиговый, а в промоинах как эрозионно-сдвиговый, так и сдвиговый.

Геологические факторы являются одними из определяющих в селеформировании, а литологический состав горных пород влияет на характеристики селей, селевых бассейнов и селевого процесса в целом. Литологические комплексы горных пород выделяются на основе устойчивости к факторам денудации, в них объединены породы, сходные по генезису и физическим свойствам независимо от их возраста (Полунин, 1983, 1989). Наибольшее влияние на устойчивость пород к факторам денудации оказывает минералогический состав цемента и гранулометрический состав пород. На склонах морских террас о. Сахалине можно выделить шесть литологических комплексов горных пород, в которых формируются склоновые сели (рис.1). Каждый из литологических комплексов представлен специфическим составом селеформирующих пород, что обусловливает особенности формы и геоморфологического строения селевого бассейна, а также селевого процесса в целом. Выделена прямая зависимость: литологический состав горных пород – селевой процесс – форма селевого бассейна. Каждую из форм склоновых селевых бассейнов можно классифицировать в соответствии с таксономическими уровнями: класс - структура рельефа; подкласс – тип морского берега; тип – литологический комплекс горных; подтип – форма склонового селевого бассейна. Предлагаемая методика позволяет выделить территории, сходные по условиям селеобразования и характеристикам селевых процессов даже в том случае, если они находятся в разных географических районах. Авторами статьи на основе предложенной классификации построена карта-схема селевых геосистем на склонах морских террас о. Сахалин в масштабе 1:4 000 000 (Рис. 1а) с картой-врезкой в масштабе 1:50 000 для участка западного побережья залива Терпения (одного из самых селеопасных участков побережья о. Сахалин) (Рис. 1б). Карта позволяет определить основные характеристики селей (структурно-реологический тип, вещественный состав и плотность селевой массы, объем селевых выносов), частоту селеформирования, особенности селевого процесса (Табл. 1), что может быть использовано для оценки селевой опасности транспортных магистралей и урбанизированных территорий.

Выводы

На основе особенностей геоморфологического строения и литологического состава горных пород впервые разработана классификация форм склоновых селевых бассейнов на морских террасах о. Сахалин, в соответствии которой выделено 5 форм селевых бассейнов. Выявлена прямая зависимость: литологический состав горных пород – селевой процесс – форма селевого бассейна. Разработана методика построения карт селевых геосистем склоновых селей на морских террасах, в соответствии с которой составлена карта-схема

селевых геосистем о. Сахалин в масштабе 1:4 000 000 с картой-врезкой в масштабе 1:50 000.

Табл. 1 Легенда к карте-схеме селевых геосистем на морских террасах о. Сахалин

Класс: структура рельефа	Подкласс: тип морского берега	Относительная высота, м	Уклон, град.	Преобладающий тип селевого очага	Тип: литологический комплекс горных пород	Литологический состав горных пород (по Г.В. Полунину)	Балл устойчивости горных пород	Сопротивление раздавливанию горных пород, кг/см²	Подтип: форма склонового селевого бассейна	Характеристики селевого процесса					Характеристики селевого режима	
										Тип селевого процесса (по Ю.Б. Виноградову)*	Структурно - реологический тип селевого потока	Тип селевого потока*	Плотность селевой массы, кг/м³	Макс. объем селя, тыс. м³	Селеобразующая сумма осадков, мм/сут.	Повторяемость селей, раз в год
Морские террасы	аккумулятивная терраса	10-40	25-35	селевая рытвина	раздельнозернистый	галечники, пески, супеси, щебень	I	100-200	промоины, линейные и ромбовидные овраги	С, Э-С	связный	Г	1800-2100	1	30	1-0.3
	аккумулятивно-денудационная терраса	20-80	25-45	селевой врез	песчаниковый	песчаники на глинистом цементе	II	100-200	промоины, линейные и ромбовидные овраги, денудационные воронки	С, Э-С	связный	Г, ГК	1800-2300	5	50	0.3-0.2
				селевой врез	глинисто-алевролитовый	глины, алевролиты, аргиллиты с прослоями песчаников и углей, цемент – глинисто-серицитовый	III	100-200	промоины, денудационные воронки	С, Э-С	связный	ГК	1800-2300	5	50	0.3-0.2
	абразионный уступ	80-200	35-60	скальный	песчаниково-кремнистый	песчаники, аргиллиты, алевролиты кремнистые, туфопесчаники, туфы, конгломераты, цемент – хлоритово-глинистый	III	200-500	промоины, линейные и извилистые врезы	С, Э-С	связный	ГК	1800-2300	3	50-70	0.2-0.1
				скальный	кремнисто-алевролитовый	алевролиты, опоки, кремнистые аргиллиты	III	200-500		С, Э-С	связный	ГК	1800-2300	3	50-70	0.2-0.1
				скальный	вулканогенный	туфы, андезиты, дациты, диабазы	IV	800-1300		С, Э-С	связный	ГК	1800-2500	3	50-70	0.2-0.1

Примечание 1: Тип селевого процесса: С - сдвиговый; Э-С - эрозионно-сдвиговый.
Примечание 2: Тип селевого потока: Г - грязевой; ГК - грязекаменный

Список литературы

Полунин Г.В. Динамика и прогноз экзогенных процессов. М., Наука, 1989 – 232 с.

Полунин Г.В. Экзогенные геодинамические процессы гумидной зоны умеренного климата. М., Наука, 1983 – 249 с.

Рыбальченко С.В. Селевая опасность территорий населённых пунктов Сахалинской области и необходимость применения схем планировочных ограничений к генпланам населённых пунктов. // *Геориск*, № 3, 2013. С. 33-42.

Рыбальченко С.В., Верховов К.В.. Склоновые селевые бассейны и их морфодинамические особенности.// *Геориск.* № 4, 2017. С. 58 - 63.

The slope debris forms pools on the marine terraces of the Sakhalin island and their dependence on the lithological composition of rocks

***Rybalchenko S.V.*[1], *Verkhovov K.V.*[2]**

[1]*Far East Geological Institute of Far Eastern Branch Russian Academy of Science, Sakhalin Department, Yuzhno-Sakhalinsk*

[2]*MPI "Capital construction management", Yuzhno-Sakhalinsk*

rybalchenko_sv@mail.ru

Abstract: On the basis of features of geomorphological structure and lithology of rocks for the first time developed a classification of forms of slope debris flow basin on the marine terraces of the Sakhalin island, under which selected 5 forms of debris basins: a gully, a linear ravine, meandering incision, denudation catchment basin, diamond-shaped ravine. Each of the forms of slope debris flow basins can be classified according to the taxonomic level: the class - structure of the terrain; a subclass – type of the sea coast; type – lithological complex rocks; the subtype is the form of slope debris flow basin. On the basis of the classification drawn up a schematic map of geosystems slope debris flows on the marine terraces of the Sakhalin island.

Keywords: lithological complex, debris flow, slope debris flow basin.

Анализ чувствительности двумерной гидродинамической модели к изменению коэффициента шероховатости

Сазонов А.А. [1,2], ***Крыленко И.Н*** [1,2]
[1]*МГУ имени М.В. Ломоносова*
[2]*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН*
Sazonov.lesha@gmail.com

Аннотация: С развитием компьютерных методов прогнозирования основных характеристик наводнений всё большее распространение получают методы гидродинамического моделирования. В данной работе использовалась двумерная гидродинамическая модель STREAM-2D. Основной параметр калибровки — коэффициент шероховатости, путем изменения которого становится возможным настроить модель и получить точное воспроизведение фактического уровня воды, скорости течения. Также, точное задание коэффициента шероховатости позволяет проимитировать наличие различных ледовых явлений, таких как затор или шуга.

В качестве объекта исследования был выбран участок Северной Двины: от узла слияния рек Сухона и Юг и до города Котлас. Данный район регулярно подвержен затоплению в связи с возникновением ледовых заторов. Прогнозирование основных характеристик затопления для данного района является важнейшей прикладной гидрологической задачей.

Цель данной работы — отдельно оценить влияние коэффициента шероховатости русла реки и её поймы на основные гидрологические характеристики затопления: среднюю глубину потока, среднюю скорость течения и площадь водной поверхности.

В качестве исходных данных задавались расходы рек Сухоны и Юга в пределах диапазона их изменений за период наблюдений, суммарный расход р. Малой Северной Двины составлял от 1000 до 11000 м^3/с. Уровень на нижней границе автоматически рассчитывался моделью STREAM-2D на основании кривой зависимости $Q=f(H)$, построенной по суточным данным о расходах воды во время прохождения беззаторного половодья. В ходе выполненного исследования был проведен ряд имитационных расчетов: для каждого заданного расхода воды было проведено 9 различных вариантов расчетов при разных коэффициентах шероховатости: Коэффициенты шероховатости русла последовательно менялись с 0.02 до 0.032 с шагом в 0.04. Затем для русла устанавливался коэффициент шероховатости, равный 0.028 и последовательно менялся коэффициент шероховатости поймы: 0.04, 0.05, 0.06, 0.08 и 0.1.

Анализ проведенных расчетов показал, что двумерная гидродинамическая модель наиболее чувствительна к изменению коэффициента шероховатости русла реки, при изменении коэффициента шероховатости поймы все рассматриваемые характеристики затопления изменяются незначительно. Наиболее чувствительная характеристика - это глубина потока, диапазон ее колебания при одном и том же расходе воды, но при разных коэффициентах шероховатости может достигать 0,53 м.

Ключевые слова: Моделирование, коэффициент шероховатости, речной поток.

С развитием компьютерных методов прогнозирования основных характеристик наводнений всё большее распространение получают методы гидродинамического моделирования. Для корректной работы любой модели, в данном случае двумерной гидродинамической модели STREAM-2D, необходимо производить калибровку параметров.

Основным параметром, влияющим на режим моделируемого речного потока, является коэффициент шероховатости, характеризующий состояние подстилающей поверхности русла и поймы. Для определения коэффициента шероховатости в различные годы были составлены таблицы такими гидравликами как М.Ф. Срибный, В.Т. Чоу, И.Ф. Карасев, Дж. Бредли, Н.М. Носов, И.И. Агроскин и другие.

В отечественной прикладной гидрологии наиболее распространены таблицы М.Ф. Срибного (Срибный, 1960), которые содержат значения коэффициента шероховатости для 17 различных типов вариантов подстилающей поверхности: 7 типов для пойм и 10 типов для речных русел, где коэффициент шероховатости пойм изменяется от 0.04 до 0.2, русел — от 0.025 до 0.133.

Подобная классификация была разработана американским гидравликом В.Т.Чоу (Чоу, 1969), все равнинные реки США он разделил по типу подстилающей поверхности на 10 типов. В ней диапазон коэффициентов шероховатости для русел составляет от 0.025 до 0.070, а для пойм от 0.025 до 0.160.

Другой американский гидравлик Дж. Бредли (Braydlay, 1960) предложил использовать классификацию типов поверхностей русел и пойм в зависимости от ширины водотока в период прохождения максимального расхода, то есть во время прохождения половодья или паводка. Данная классификация основана на идее различного влияния факторов, формирующих коэффициент шероховатости в различные периоды водности. Стоит отметить, что минимальные и максимальные значения коэффициентов шероховатости в классификации М.Ф.Срибного и Дж.Бредли достаточно близки, так минимальное значение коэффициента шероховатости русла у М.Ф.Срибного — 0.025, в то время как у Дж.Бредли это значение составляет 0.028, для поймы эти значения составляют 0.04 и 0.03 соответственно. Максимальные значения коэффициента шероховатости для русла у М.Ф. Срибного и у Дж. Бредли совпадают, для поймы значение коэффициента шероховатости у М.Ф. Срибного несколько выше, однако значения по-прежнему очень близки: 0.133 и 0.05.

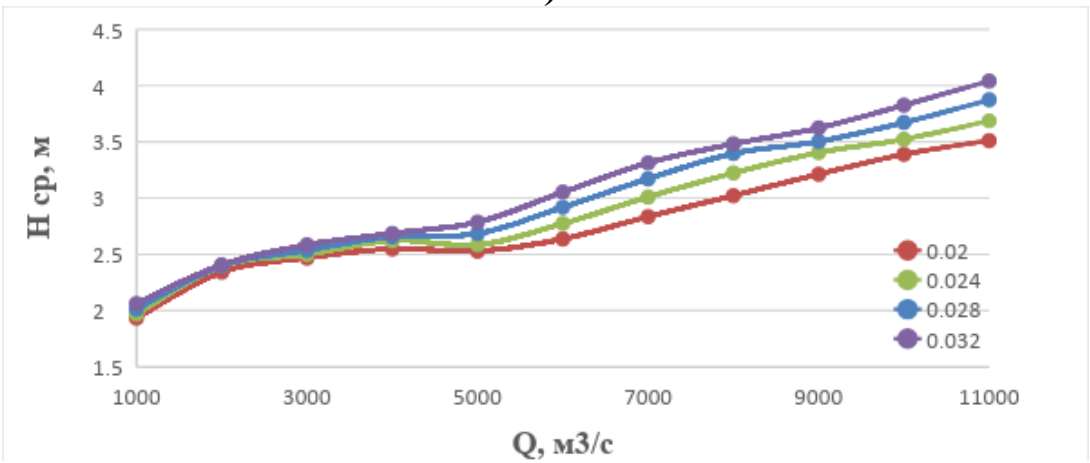
Для горных рек СССР Н.М. Носовым была разработана в 1938 г. классификация, в которой основным критерием для разделения на типы является уклон водной поверхности и максимальные расходы воды. Для русла, сложенного мелкими фракциями наносов, илом, песком или мелким гравием значение коэффициента шероховатости составляет 0.022, а для крупных фракций, таких как валуны оно составляет 0.12. Данные коэффициенты шероховатости применимы для диапазона уклонов водной поверхности от 0.0005 до 0.08. и для диапазона максимальных расходов от 50 м^3/с до 1000 м^3/с (Железняков, Данилевич, 1966).

При расчетах, в том числе в гидродинамическом моделировании, стоит понимать, что коэффициент шероховатости - величина осредненная, фактическая шероховатость может заметно отличаться. Это связано с тем, что в действительности факторов, от которых зависит коэффициент шероховатости, намного больше, например, это могут быть различные виды донной растительности, изменение формы поперечного сечения, различные типы ледяного покрова и т.д.

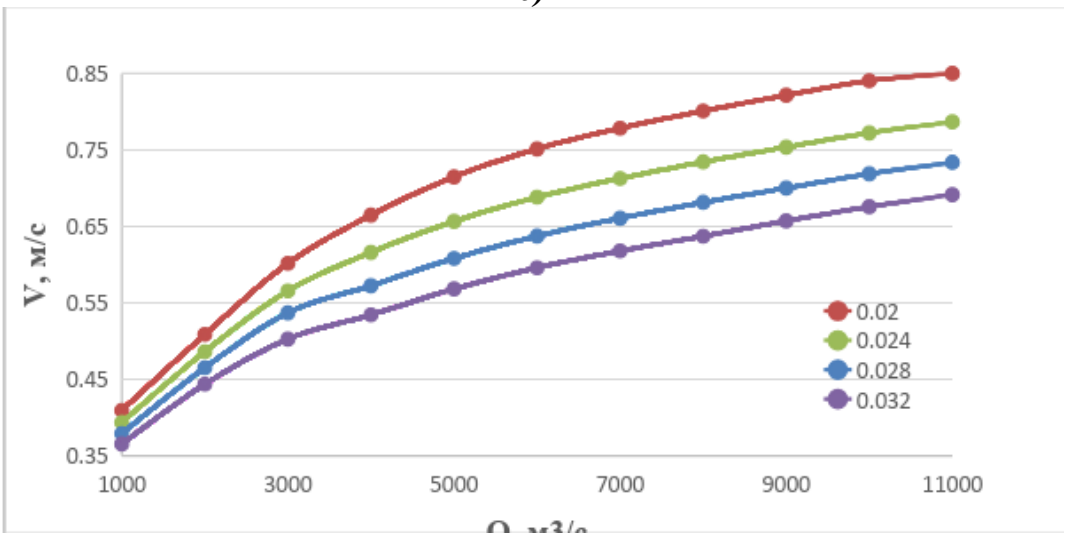
В данной работе на примере двумерной гидродинамической модели ключевого участка в узле слияния рек Сухоны и Юга (от г. Великий Устюг до г. Котлас) (Agafonova et al., 2017), реализованной на основе программного комплекса STREAM_2D (авт. Беликов В.В.) (Belikov et al., 2000), были проведены численные эксперименты по оценке чувствительности основных моделируемых характеристик, таких как глубина потока (м), скорость течения (м/с), площадь водной поверхности (км^2) к изменению коэффициентов шероховатости русел и пойм.

Все характеристики потока, полученные в ходе моделирования для каждой расчетной ячейки модели, осреднялись на основе программы, разработанной А.И.Алексюком (лаборатория гидрологии речных бассейнов ИВП РАН) «AverageInRegion».

а)



б)



в)

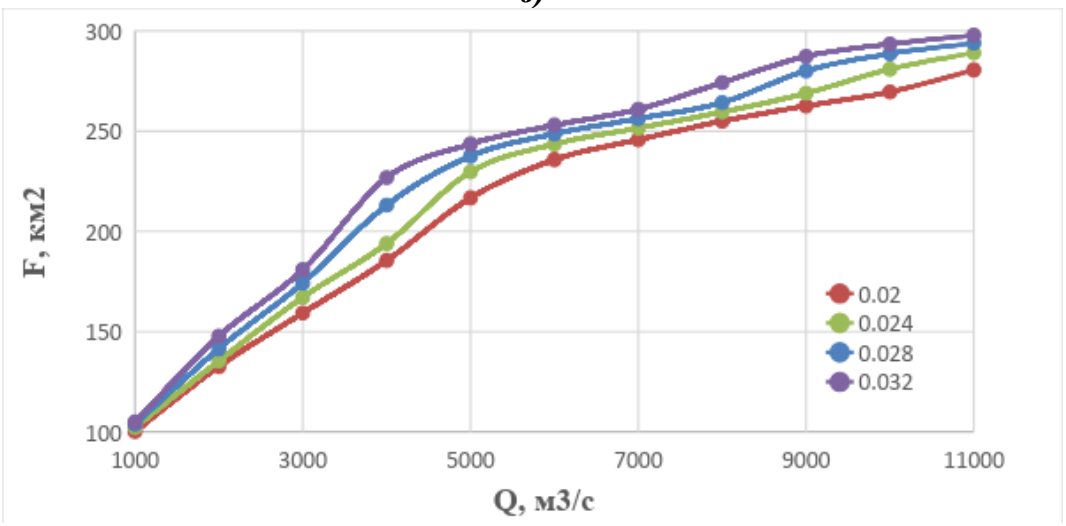


Рис. 1 Изменение основных гидрологических характеристик (а — средней глубины, м; б —средней скорости течения, в — площади водной поверхности) в зависимости от шероховатости русла

Все расчеты проводились в программном комплексе STREAM_2D, всего было выполнено 99 сценарных расчетов. В качестве исходных данных задавались расходы рек Сухоны и Юга в пределах диапазона их изменений за период наблюдений, суммарный расход р. Малой Северной Двины составлял от 1000 до 11000 м^3/с. Уровень на нижней границе автоматически рассчитывался моделью STREAM-2D на основании кривой зависимости $Q = f(H)$, построенной по суточным данным о расходах воды во время прохождения беззаторного половодья.

Для каждого заданного расхода воды было проведено 9 различных вариантов расчетов при разных коэффициентах шероховатости: Коэффициенты шероховатости русла последовательно менялись с 0.02 до 0.032 с шагом в 0.04. Затем, для русла устанавливался коэффициент шероховатости, равный 0.028 и последовательно менялся коэффициент шероховатости поймы. Для проведения данного эксперимента были выбраны 5 вариантов коэффициентов шероховатости: 0.04, 0.05, 0.06, 0.08 и 0.1. Данный набор коэффициентов был задан для рассмотрения всего диапазона изменения типов подстилающей поверхности от растительности на неосвоенной пойме до урбанизированных территорий. По итогам численных экспериментов для каждой гидрологической характеристики были построены графики зависимости от входного расхода воды при различных значениях коэффициента шероховатости.

На графике зависимости средней глубины от расхода воды при различной шероховатости русла (рис. 1а) видно, что до расхода воды 4000 м^3/с различия несущественные и находятся в пределах погрешности определения, начиная с расхода 4000 м^3/с коэффициент шероховатости русла начинает влиять на различие в глубине потока на величину более, чем 40-50 см. В среднем, при изменении коэффициента шероховатости русла на 0.04 глубина затопления меняется на 17 см. Максимальная глубина будет наблюдаться при расходе в 11000 м^3/с и коэффициенте шероховатости 0.032 и будет составлять 4.04 м. Разница глубины при расходе в 11000 м^3/с при коэффициенте шероховатости 0.02 и 0.032 составляет 53 см, что является достаточно большим различием при использовании двумерной гидродинамической модели при решении задач, связанных с затоплением территории.

Изменение скорости течения в зависимости от расхода воды показано на рис. 1б. При наибольшем расходе воды, 11000 м^3/с, различие между скоростью течения при коэффициенте шероховатости 0.02 и 0.032 составляет 0,16 м/с, что является небольшим изменением скорости.

Форма кривой зависимости изменения площади затопления от расхода воды напрямую зависит от морфометрии рельефа (рис. 1в). Чем больше уклон склона и перепад высот между меженной высотной отметкой уровня реки и высотной отметкой бровки берега, тем меньше будет влияние коэффициента шероховатости русла. На графике это выражено в виде перегиба, соответствующего расходу воды в 4000 м^3/с. На этом этапе происходит затопление поймы, по мере увеличения расхода воды прямо пропорционально растет площадь затопления, при 4000 м^3/с начинает затапливать первую надпойменную террасу, в связи с чем увеличение площади затопления снижается.

Разница площадей затопления при максимальном расходе, 11000 м^3/с при коэффициентах шероховатости русла 0.02 и 0.032 составляет 17 км^2, отсюда можно сделать вывод, что изменение коэффициента шероховатости русла незначительно влияет на площадь затопления.

При анализе результатов моделирования с изменением коэффициента шероховатости поймы можно отметить, что при максимальном задаваемом расходе воды разница средней глубины затопления составляет 35 см.

Средняя скорость течения меняется незначительно, наибольшее значение равное 0,71 м/с достигается при коэффициенте шероховатости 0,04, а минимальное значение равное 0,65 м/с при коэффициенте шероховатости 0.1. Таким образом, диапазон изменения скоростей составляет 0,06 м/с.

Площадь затопления также изменяется незначительно, в диапазоне от 276 км^2 до 286 км^2, для коэффициентов шероховатости от 0,1 до 0,04 соответственно.

В качестве вывода можно отметить, что модель наиболее чувствительна к изменению коэффициента шероховатости русла реки, особенно сильно меняется глубина потока. Это обстоятельство необходимо учитывать при проведении моделирования заторных ситуаций, имитации наличия других ледовых явлений, требующих изменения коэффициента шероховатости.

Калибровка и верификация модели проведены при поддержке проекта РНФ 17-11-01254, численные эксперименты при поддержке проектов РФФИ № 17-05-01230-а, 18-35-00498-мол-а.

Список литературы

Железняков Г.В., Данилевич Б.Б. Точность гидрологических измерений и расчетов. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 240 с.

Срибный М. Ф. Формула средней скорости течения рек и их гидравлическая классификация по сопротивлению движения. В Сб.: Исследования и комплексное использование водных ресурсов. М., АН СССР, 1960: 204-220.

Чоу В. Т. Гидравлика открытых каналов. М.: Стройиздат, 1969. 464 с.

Agafonova S.A., Frolova N.L., Krylenko I.N., Sazonov A.A., Golovlyov P.P. Dangerous ice phenomena on the lowland rivers of European Russia // *Natural Hazards*. 2017. Vol. 88: 171–188.

Belikov V.V., Semenov A.Yu. Non-Sibsonian interpolation on arbitrary system of points in Euclidean space and adaptive isolines generation // *Appl Numer Math.* 2000. 32: 371–387.

Braydlay I. N. Hydraulies bridge waterways // *Hydraul. Res*., sez № 1. Div. Hydraul. Res. of Public. Roads. Wash., D. C. 1960: 1-53.

Sensitivity analysis of two-dimensional hydrodynamic model to changes of the roughness coefficient

***Sazonov A.A.*[1,2], *Krylenko I.N.*[1,2]**
[1]*Lomonosov Moscow State University*
[2]*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences*
Sazonov.lesha@gmail.com

Abstract: In this investigation two-dimensional hydrodynamic model «STREAM-2D» was used for forecasting of the main characteristics of floods. The main parameter of calibration is the roughness coefficient, by changing which it becomes possible to adjust the model and get an accurate reproduction of the actual water level and flow velocity. Also, the exact setting of the roughness coefficient allows to simulate the presence of various ice phenomena, such as ice jam or sludge. The site of the Northern Dvina river was chosen as the object of research: from the confluence of the Sukhona and South rivers to Kotlas city. This area regularly undergoes flooding due to the occurrence of ice jams. Forecasting of the main characteristics of flooding for this area is the most important applied hydrological task. The purpose of this work is to assess separately the influence of riverbed roughness coefficient and its floodplain on the main hydrological characteristics of flooding: average depth of flow, average flow velocity and water surface area. Discharge data of the rivers Sukhona and Yug within the range of their changes during the observation period were used, the total flow discharge ranged from 1000 to 11000 m^3/s. The level at the lower boundary was automatically calculated by the STREAM-2D model on the basis of the dependence curve $Q=f(H)$, based on the daily data during flood without ice jam.

In this research, calculations were carried out for each given water flow velocity, 9 different variants of calculations were carried out at different roughness coefficients: the roughness coefficients of the channel were sequentially changed from 0.02 to 0.032 with a step of 0.04. Then, for the channel the roughness coefficient equal to 0.028 was established and the roughness coefficient of floodplain was sequentially changed: 0.04, 0.05, 0.06, 0.08 and 0.1. The analysis of the calculations showed that the two-dimensional hydrodynamic model is most sensitive to changes in the roughness of the river bed. When the roughness of the floodplain changes, all the characteristics of flooding are changed slightly. The most sensitive characteristic is the depth of the flow.

Keywords: Modeling, coefficient of roughness, river flow

Водоснежные потоки в долине р. Кукисйок (Хибины)

Казаков Н.А.[1], Соколова Д.П.[2], Волков А.В.[3]

[1]ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал, г. Южно-Сахалинск

[2]ФГБОУ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

[3]Центр лавинной безопасности АО "Апатит", г. Кировск

dariia.sokolova@yandex.ru

Аннотация: Рассматриваются 2 ранее не описанных случая формирования в долине р. Кукисйок (Хибины, Кольский п-в) водоснежных потоков (ВСП) объёмом до 6 тысяч м^3 (16.05.1986 г и 03.05.1987 г.). Механизм образования ВСП в долине р. Кукисйок 16.05.1986 г и 03.05.1987 г. можно определить, как гидронапорный. Снежная толща на линии отрыва ВСП состояла из 5-7 слоёв влажного режеляционно-полиэдрического снега плотностью от 0,36 г/см^3 до 0,72 г/см^3 с ледяными корками на контактах. Толщина снежного покрова на момент схода ВСП составляла 120 - 160 см. Температура воздуха составляла 8 – 11ºС. 03.05.1987 г. перед сходом ВСП выпало 11,1 мм осадков в виде дождя. Строение (стратификация) снежной толщи играет важную роль в формировании ВСП. Снежные слои с разной плотностью создают устойчивую кровлю над водным потоком, фильтрующимся в снежной толще, не позволяют свободной воде беспрепятственно фильтроваться через снежную толщу и создают условия для возникновения гидродинамического напора. Снежная толща, выполненная слоями снега с разной плотностью и твёрдостью обладает меньшей устойчивостью к внешнему воздействию, чем однородная толща. После исчезновения слоёв и формирования однородной снежной толщи ВСП не формируются, поскольку талые воды начинают беспрепятственно фильтроваться через всю толщу и гидростатический напор в снежной толще, приводящий к отрыву снежного пласта и формированию ВСП не возникает.

Ключевые слова: водоснежный поток, структура, стратификация, снежная толща, Кольский полуостров

Введение

Водоснежные потоки (ВСП) являются одним из тех катастрофических природных процессов, которые широко распространены в Хибинах. ВСП достаточно хорошо изучены (Аккуратов, 1959; Благовещенский, 1975; Перов, 1995; Черноус и др., 2000; Божинский и др., 2001; Зюзин, 2006). Однако некоторые особенности формирования ВСП (в частности, строение снежной толщи на линии их отрыва (Казаков, 2001)) порой ускользают от внимания исследователей: вероятно, в силу того обстоятельства, что далеко не всегда предоставляется возможность описать линию отрыва ВСП непосредственно после его схода. Во время двух случаев формирования ВСП в долине р. Кукисйок 16.05.1986 и 02-03.05.1987 г.г. нами были описаны ВСП, метеорологические условия их формирования и стратиграфические колонки линий отрыва ВСП.

Методы исследования

Все рассматриваемые в настоящей статье ВСП были описаны в течение нескольких часов после их схода (Н.А. Казаков). Стратиграфические колонки снежной толщи на линиях отрыва ВСП описывались инструментально. Конусы выноса и зоны транзита ВСП измерялись инструментально. Данные метеорологических наблюдений за температурой и влажностью воздуха, направлением и скоростью ветра и осадками были получены на метеорологической площадке УДО-1 Горнолавинного участка «Новый рудник» Цеха противолавинной защиты ПО «Апатит». Метеорологическая площадка была расположена в долине р. Кукисйок между хр. Поачвумчорр и Кукисвумчорр на абсолютной отметке 378 м (на створе лавиносбора № 227) на 100 м ниже линий отрыва ВСП. По этой причине

значения метеорологических характеристик периода формирования ВСП могут быть приняты как реально соответствующие их значениям на высоте отрыва ВСП.

Результаты

Впервые сход ВСП в долине р. Кукисйок из лавиносбора № 227 был описан в начале мая 1934 г. А.В. Клименко (Зюзин, 2006).

16.05.1986 г из лавиносбора № 227 сошёл ВСП объёмом 0,5 тысячи м^3 (Табл. 1). Отрыв произошёл в 5 м выше уступа в днище скального русла. В момент схода ВСП снежная толща на линии отрыва состояла из 4 слоёв влажного режеляционно-полиэдрического снега плотностью от 0,36 г/см^3 до 0,72 г/см^3. На контактах между слоями находились ледяные корки. Толщина снежного покрова на момент схода ВСП составляла 160 см. Подстилающая поверхность – скальные породы.

03.05.1987 г. в Хибинах было зарегистрировано массовое формирование ВСП. По сведениям исследователей из МГУ (Божинский и др., 2001) сошло около 20 ВСП. 2 ВСП объёмом 10 и 20 тысяч м^3 сошли в долине р. Сев. Левайок (Нечаев Н.Ф., устное сообщение).

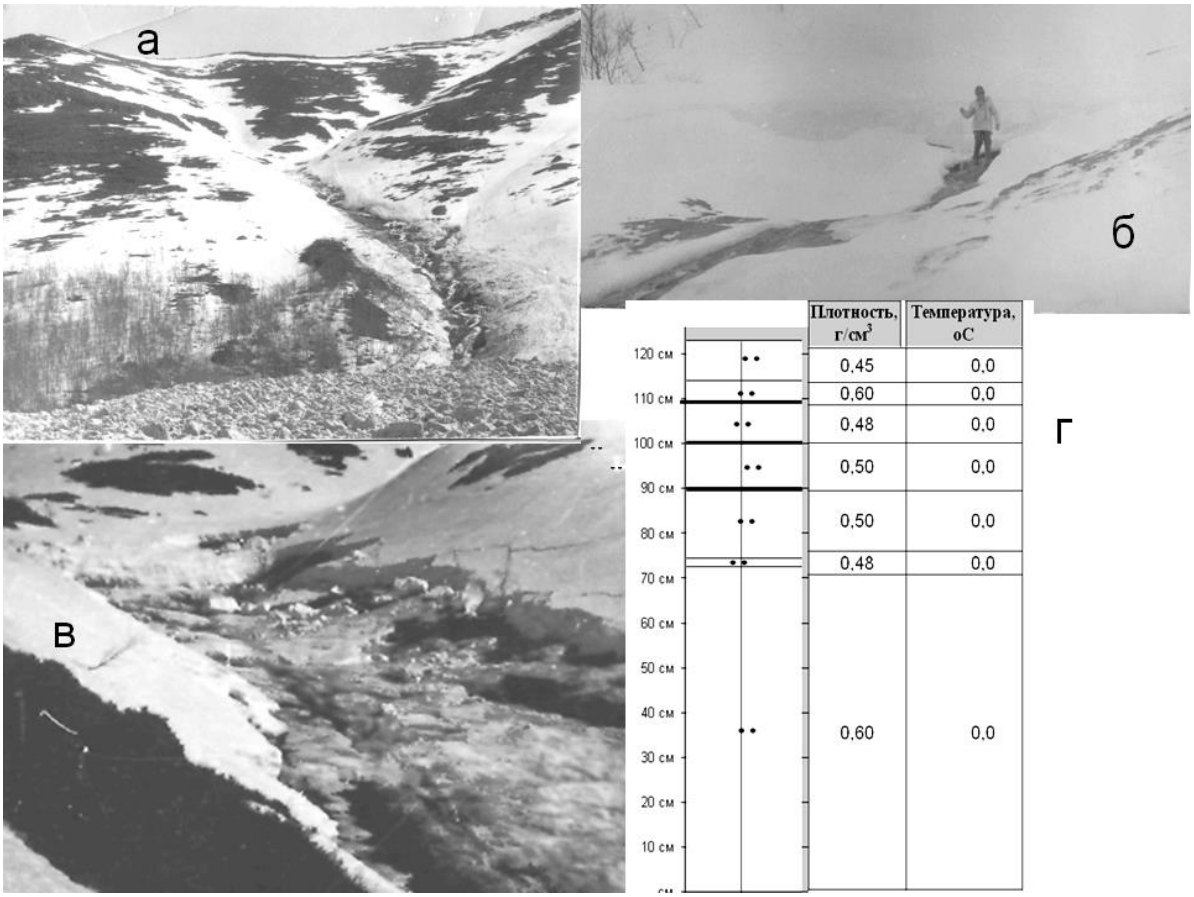


Рис. 1 Водоснежный поток (ВСП), сошедший 03.05.1987 г. Хибины, гора Кукисвумчорр, лавиносбор № 227. А – общий вид зоны отрыва, транзита и аккумуляции; б – линия отрыва ВСП; в – пласт снега, вырванного выше линии отрыва и линия отрыва ВСП; г – стратиграфическая колонка снежной толщи на линии отрыва ВСП (режеляционно-полиэдрический влажный снег с ледяными корками)

В долине р. Кукисйок 03.05.1987 г. было зарегистрировано формирование 5 ВСП объёмом составили от 2,5 до 6 тысяч м^3 (Табл. 1). В сутки, предшествующие сходу ВСП, произошло повышение температуры воздуха с 2,1^{o}С до 10,2^{o}С. При этом за 7 часов выпало 10,5 мм осадков в виде дождя. Осадки прекратились за 4 -5 часов до схода ВСП.

Отрыв ВСП в лавиносборе № 227 (Рис. 1а) 03.05.1987 г. произошёл таким образом. В середине лавиносбора на участке резкого перегиба тальвега (ровная ступень) произошло вырывание снежного пласта в виде ровного круга диаметром 16 м (Рис. 1в). В 6 м ниже первичного выброса снега произошёл отрыв снежного пласта от линии (Рис. 1б, в). Отрыв произошёл в 6 м выше уступа в днище скального русла (как и 16.05.1986 г). Оба уступа, вероятно обусловили подпор фильтрующего в снежной толще водного потока, что привело к возникновению гидродинамического напора и вырыванию снежного пласта.

Снежная толща на линии отрыва ВСП состояла из 7 слоёв влажного режеляционно-полиэдрического снега плотностью от 0,45 г/см^3 до 0,60 г/см^3 с ледяными корками на контактах между слоями (Рис. 1г). Толщина снежного покрова на момент схода ВСП составляла 124 – 130 см.

Характеристики остальных ВСП, сошедших 03.05.1987 г., и условия их схода не отличались от ВСП в лавиносборе № 227 (Табл. 1).

Обсуждение результатов

Механизм образования ВСП в долине р. Кукисйок 16.05.1986 г и 03.05.1987 г. можно определить как гидронапорный (Аккуратов, 1959; Зюзин, 2006).

Основные условия возникновения водоснежных потоков в долине р. Кукисйок 16.05.1986 г и 03.05.1987 г. не отличаются от условий их формирования в разных регионах (Аккуратов, 1959; Благовещенский, 1975; Перов, Сидорова, 1988; Kobayashi and al., 1991; Перов, 1995; Войтковский, Корольков, 1998; Божинский и др., 2001; Казаков, 2001; Зюзин, 2006; Генсиоровский и др., 2015): выпадение жидких осадков и (или) резкое повышение температуры воздуха в начальный период снеготаяния и наличие водоупора в подошве снежного пласта.

Табл. 1 Характеристики водоснежных потоков и условий их формирования в долине р. Кукисйок. 1986 – 1987 г.г.

Дата	Время схода, часы	№№ лавиносбора	Экспозиция	Абс. отметка, м		Превышение, м	Дальность выброса,м	Уклон , град.		Линия отрыва, м		Плотность снега, г/см^3		Объём, тыс. м^3	Конус выноса			Температура воздуха, °С		Осадки, мм	
				Линнии отрыва ВСП	Нижней границы конуса выноса ВСП			На линии отрыва	В зоне транзита	Длина	Толщина	На линии отрыва	В отложениях		Длина, м	Ширина, м	Толщина, м	Макс. в предшествующие 12 часов	В момент схода	Сумма, мм	Вид; атмосфеное яление
16.05.1986	20:30-20:55	227	ЗЮЗ	460	390	70	240	24	28	9,6	1,7	0,36 - 0,72	0,72	0,5	78	18	0,4 - 1,3		10,5	-	Туман
02.05.1987	0 - 02:30	186	ЗСЗ	520	430	70	400	28	30	12	1,0	-	0,60	2,5		40	1,0	10,2	7,8	11,1	Дождь
02.05.1987	0 - 02:30	187	З	520	420	100	400	28	30	12	1,0	-	0,60	3,0	200	40	1,0	10,2	7,8	11,1	Дождь
02.05.1987	0 - 02:30	188	З	500	400	100	600	28	30	12	1,0	-	0,60	3,0	200	15	0,5	10,2	7,8	11,1	Дождь
02.05.1987	0 - 02:30	189	ЗЮЗ	400	390	110	500	28	30	25	1,1	-	0,60	4,5	150	50	0,7	10,2	7,8	11,1	Дождь
03.05.1987	0 - 02:30	227	ЗЮЗ	475	385	90	500	26	28	15	1,3	0,45-0,60	0,60	6,1	400	240	0,4 - 1,15	10,2	7,8	11,1	Дождь

Однако анализ стратиграфических колонок линий отрыва ВСП в долине р. Кукисйок 16.05.1986 г и 03.05.1987 г. показал, что важную роль в формировании ВСП играет стратификация снежной толщи на момент формирования: чётко выделяемые снежные слои. После исчезновения слоёв и формирования однородной снежной толщи

ВСП не формируются, поскольку талые воды начинают беспрепятственно фильтроваться через всю толщу и гидростатический напор в снежной толще, приводящий к отрыву снежного пласта и формированию ВСП не возникает. По нашему мнению, сохранение в снежной толще четко выраженных границ между снежными слоями, различающимися по плотности, является одним из необходимых условий для формирования водоснежного потока при гидронапорном механизме образования ВСП. Важно отметить: несмотря на то, что снежная толща в этой высотной зоне имеет плотную метелевую упаковку (поскольку формируется под сильным ветровым воздействием и изначально выполнена корразионно – полиэдрическими кристаллами) и большую плотность (0,45 – 0,55 г/см^3), её перекристаллизация протекает очень активно. По нашим наблюдениям, значения коэффициентов перекристаллизации снежной тощи в этих зонах составляет к концу апреля 0,85 – 0,95, а коэффициентов вторичного расслоения снежной толщи – 0,40 – 0,70. При соответствующих метеорологических условиях такая снежная толща легко вовлекается в процесс формирования ВСП.

Выводы

В формировании ВСП важную роль играет стратификация снежной толщи на момент формирования: чётко выделяемые снежные слои с разной плотностью. Такие слои создают устойчивую кровлю над водным потоком, фильтрующимся в снежной толще, не позволяют свободной воде беспрепятственно фильтроваться через снежную толщу и таким образом создают условия для возникновения гидродинамического напора. В то же время, снежная толща, выполненная слоями снега с разной плотностью и твёрдостью обладает меньшей устойчивостью к внешнему воздействию, чем однородная толща. После исчезновения слоёв и формирования однородной снежной толщи ВСП не формируются, поскольку талые воды начинают беспрепятственно фильтроваться через всю толщу и гидростатический напор в снежной толще, приводящий к отрыву снежного пласта и формированию ВСП не возникает.

Список литературы

Аккуратов, В. Н. Генетическая классификация лавин //Труды Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции: сб. науч. ст. – Нальчик, 1959. С. 206–226.

Благовещенский В.П. Водо-снежные потоки в Хибинах. Исследования снега и лавин в Хибинах. Л. Гидрометеоиздат, 1975 - с.88 - 97.

Божинский А.Н., Евтеев А.О., Мягков С.М., Перов В.Ф., Сапунов В.Н., Сапунова Г.Г., Фрейдлин В.С. Водоснежные потоки Хибин. М., Геогр. ф-т МГУ, 2001 – 167 с.

Войтковский К.Ф., Корольков В.Г. Водоснежные потоки на плато Путорана. Материалы гляциологических исследований, вып.84, М., ИГ РАН, 1998. С. 92 – 94.

Генсиоровский Ю.В., Боброва Д.А., Жируев С.П. Водоснежные потоки на юге острова Сахалин. *Геориск*. № 2, 2015. С.18-20.

Зюзин Ю.Л. Суровый лик Хибин. Мурманск: Реклм. Полиграфия 2006 – 235 с.

Казаков Н.А. Водоснежные потоки на о. Сахалин. Материалы гляциологических исследований, вып.92, 2002. С. 181-183.

Перов В.Ф. Водоснежные потоки. Материалы гляциологических исследований, вып.79, 1995. С. 177 – 185.

Перов В.Ф., Сидорова Т.Л. Метеорологические условия формирования водоснежных потоков. Материалы гляциологических исследований, вып.64, 1988. С. 41–47.

Черноус П.А., Тяпкина О.Ю., Хестнес Э. Диагностика и прогноз ситуаций, связанных с образованием водоснежных потоков. Материалы гляциологических исследований, вып.88, 2000. С. 113–117.

Shunichi Kobayashi, Kaoru Izumi. A study on slush flow disaster. Japan-U.S. Workshop on Snow Avalanche, Landslide, Debris Flow Prediction and Control, 1991. Pp. 197–205.

The Slash Flows in the Kukisjok River valley (Khibiny)

***Kazakov N.A.*[1], Sokolova D.P.[2], Volkov A.V.[3]**
[1]*Sakhalin Branche of Far East Geological Institute FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*
[2]*St. Petersburg State University, St. Petersburg*
[3]*Centre of avalanche safety "Apatit", Kirovsk, Russia*
dariia.sokolova@yandex.ru

Abstract: Discusses 2 not previously described case of the formation in the Kukisjok River valley (Khibiny, Kola Peninsula) the Slash Flows with capacity to 6 thousand m^3 (16.05.1986 g and 03.05.1987). The mechanism of the Slash Flows formation in the Kukisjok River valley 16.05.1986 and 03.05.1987 can be defined as hydrodynamic pressure. The snow pack on the Slash Flow destruction line consisted of 5-7 layers of wet regelation-polyhedral snow with density from 0.36 g/cm^3 to 0.72 g/cm^3 with ice crusts on the contacts. At the time of the of the Slash Flows formation the thickness of the snow pack was 120-160 cm, the air Temperature was 8-11°C. 03.05.1987 before the Slash Flows formation, 11.1 mm of rain fell. The structure (stratification) of snow pack plays an important role in the Slash Flow formation. Snow layers with different densities create a stable roof over the water flow that is filtered in the snow pack, do not allow free water to be filtered freely through the snow pack and create conditions for the emergence of a hydrodynamic pressure. Snow pack, made of layers of snow with different density and hardness has less resistance to external influences than a uniform snow pack. After the disappearance of the layers and the formation of a homogeneous snow pack the Slash Flow are not formed, because the melt water starts freely filtered through the entire snow pack and the hydrostatic pressure in snow, leading to the separation layer of snow and the formation of a Slash Flow does not occur.

Keywords: Slash Flow, structure, stratification, snow pack, Kola Peninsula

Влияние инфраструктуры на характеристики затопления пойм (на примере р.Ока в среднем течении)

***Фингерт Е.А.**, Крыленко И.Н., Головлев П.П., Алабян А.М.*
Московский государственный университет им М.В. Ломоносова, Москва
fingerte@gmail.com

Аннотация: В последнее десятилетие все чаще звучит проблема подтопления городов. Издавна люди селились по берегам рек, на высоком берегу. С увеличением численности населения люди стали застраивать и пойму. Дополнительный вклад вносят дороги, построенные через пойму и уменьшающие пропускную способность русла при высоких уровнях. Примером такой ситуации может служить среднее течение р. Оки в окрестностях города Рязань. Самые высокие уровни были зафиксированы во время половодья 1970г. Через два года был построен Солотчинский мост с 14 километровой насыпью через всю пойму Оки. В 2013г. во время половодья была подтоплена центральная часть города, включая окрестности Кремля, в то время как расходы воды были в два раза ниже исторического максимума (6000 $м^3/с$). С помощью гидродинамической модели Stream-2D было реконструировано половодье 1970г, и проведены сценарные расчеты по влиянию на прохождение половодья мостового перехода. Согласно плану развития города, на пойме планируется построить 14 новых жилых районов, их влияние также было оценено. Кроме того, были построены зависимости площадей затопления, средних уровней и скоростей при различных расходах воды и наличии или отсутствии инфраструктуры.

Ключевые слова: Моделирование, динамика потока, затопление поймы

Введение

Испокон веков поселения, а затем и города, строились на речных террасах, а поймы служили превосходными угодьями под пастбища. Увеличение численности населения, технологический и экономический рост привели к неизбежному освоению пойм под строительство. Однако, недоучет гидрологических характеристик во время прохождения редких половодий и паводков порой ведет к катастрофическим последствиям. По данным Росгидромета, наводнениям подвержены около 500 тысяч $км^2$ пойменных территорий, где расположены несколько сотен городов, десятки тысяч населенных пунктов и объектов инфраструктуры.

Наиболее часто наводнения происходят на юге Приморского края, на притоках Среднего Енисея и Средней Лены, в бассейне Верхней и Средней Оки, Верхнего Дона, на реках бассейнов Кубани и Терека. Объектом данного исследования был выбран участок в среднем течении Оки в окрестностях г. Рязани. Актуальной эта тема стала после половодья 2013 г, когда был затоплен центр города, при том максимальный расход воды был вдвое ниже исторического максимума 1970 г.

Целью данной работы является создание гидродинамической модели на участок р. Оки и ее поймы в черте города, выявление влияния мостового перехода на динамику потока в его окрестностях, влияние перспективной застройки на пропускной режим поймы.

Методы

Основной метод исследования - двумерное гидродинамической моделирование в программном комплексе Stream-2D (Беликов и Кочетков, 2014). Модель основана на решении уравнений Сен-Венана в приближении «мелкой воды». Область моделирования схематизирована гибридной треугольно-четырехугольной сеткой со 110 тыс. ячеек.

В качестве данных о рельефе использовались топографические карты 50тыс. масштаба, промеры глубин на участок моделирования, высотные отметки мостов и дорог. На основе космического снимка и рекогносцировочного выезда была составлена карта-схема коэффициентов шероховатости.

Для калибровки и верификации модели были использованы характеристики половодья 2006 (3470 $м^3/с$) и 2013 (5800 $м^3/с$) гг. Подбор калибровочного параметра осуществлялся путем сопоставления измеренных и рассчитанных уровней воды, также были сопоставлены расчетные границы затопления с космическими снимками на близкую дату (Крыленко, 2005). Модель показала хорошее соответствие затопленных областей и была принята к использованию для сценарных расчетов.

Результаты

В качестве первого сценарного расчета была предпринята попытка воспроизведения половодья 1970 г. в его естественном состоянии без мостового перехода через р. Оку. Затем в цифровую модель рельефа был добавлен Солотчинский мост и Северная Окружная дорога, тем самым были получены характеристики затопления при 1% расходах воды при современной антропогенной нагрузке. Модель показала наличие подпорного эффекта от сужения поймы (рис. 1). Выше моста уровни увеличились до 0,5 м, по сравнению с первым сценарием. Увеличение средних скоростей течения воды достигло 1 м/с в районе мостового перехода.

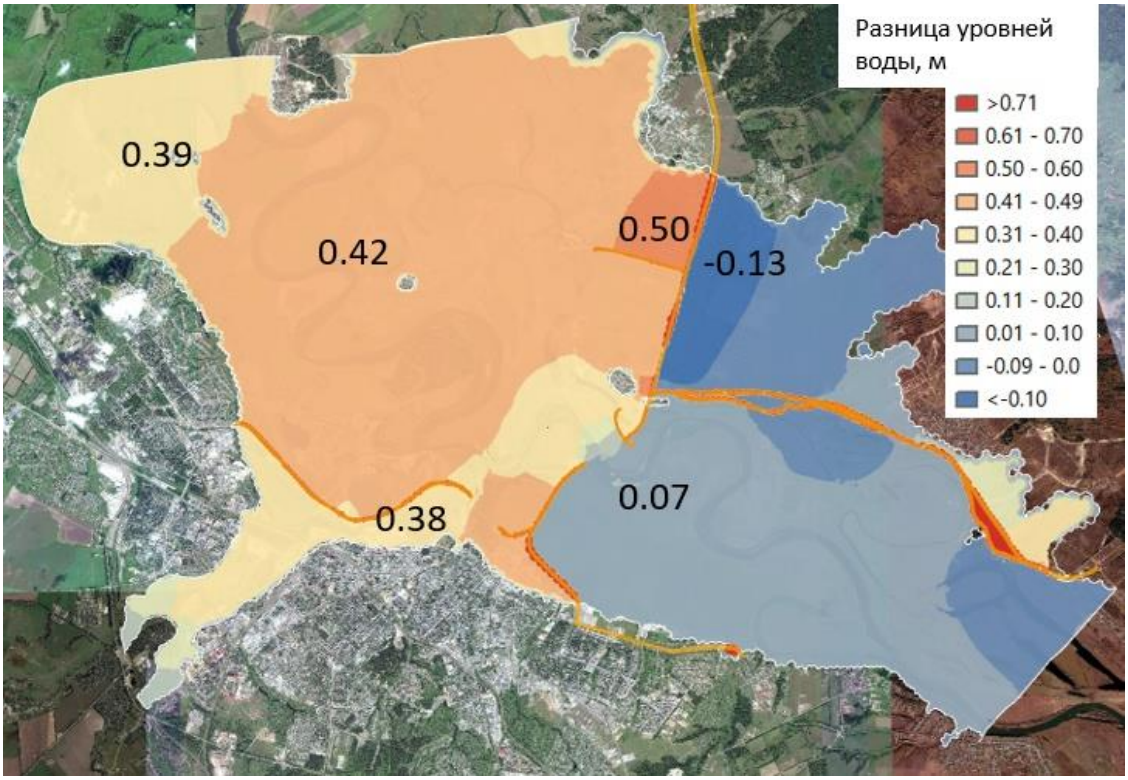


Рис. 1 Разница уровней воды в метрах между 1 (1% расход без дорог) и 2 (1% расход с дорогами) сценариями

Управление архитектуры и строительства г. Рязани предоставило проект перспективной застройки 14 новых жилых районов на пойме р. Оки и ее притоков. В задачи реализации этого проекта входило получение высотной отметки, на которой возможно безопасное размещение объектов застройки, то есть незатопляемой при экстремальных гидрологических ситуациях.

Стоит отметить, что если для Оки имеется достаточно длинный ряд данных по расходам и уровням на гидрологических постах Ока-Рязань и Ока-Половское, то на ее притоке р. Трубеж, образованного слиянием рек Павловка и Плетенка в черте города Рязани, наблюдений не велось. Гидрологические характеристики этих рек были оценены по реке-аналогу.

Для оценки влияния этих рек на затопление поймы были воспроизведены следующие сценарии: 1% расход воды по Оке, Павловке и Плетенке; 1% расход воды по Оке и 50% расходы по Павловке и Плетенке; 50% расход по Оке и 1% расход по Павловке и Плетенке.

При 1% расходе воды по Оке сравнивался вклад притоков на увеличение уровня затопления поймы при наличии застройки. Экстремальный расход воды по притокам поднимает уровень затопления на 1,5 м, по сравнению со средними расходами. В условиях суженой поймы на притоках и плотной городской застройке этого значения будет достаточно для значительного ущерба.

При 1% расходе по Павловке и Плетенке оценивался вклад расхода воды по Оке 1 и 50% обеспеченности. По сравнению со средним половодьем экстремальное дает подъем уровней на 3 м больше. При проектировании моста данный вклад был учтен.

При моделировании всех ситуаций было проанализировано увеличение уровней и скоростей вокруг каждой площадки для строительства. В связи с высокими скоростями вблизи мостового перехода было рекомендовано исключить площадку, находящуюся в непосредственной близости из плана застройки. Также было предложено изменить конфигурацию двух площадок на пойме Павловки и Плетенки и отложить их строительство для наблюдения за режимом этих рек.

Еще одна задача, которая решалась в ходе работы – оценить характеристики затопления. В рамках этой задачи было рассмотрено три основных сценария, отличающихся особенностями построения ЦМР (1 – без дорог, 2 - с дорогами и 3 – с дорогами и застройкой) при различных расходах воды. Оригинальная методика оценки была разработана Крыленко И.Н. (Методика оценки характеристик затопления разработана при поддержке проекта РФФИ 17-05-01230, численные эксперименты по оценке опасности затопления проведены при поддержке проекта РНФ 14-17-00155).

На основе моделирования и расчетов, было выявлено, что площадь затопления растет менее интенсивно при расходах от 3000 м^3/с, что связано с выходом воды на пойму. Второй перегиб наблюдается при 7500 м^3/с, когда начинает провялятся воздействие преграждающих потоку на пойме сооружений. Скорость течения также резко падает при выходе воды на пойму, затем медленно начинает увеличиваться. Средние глубины плавно растут вслед за ростом расходов воды.

Сравнение результатов основных сценариев наглядно показывает максимальное влияние объектов инфраструктуры при средних расходах воды (табл. 1). На средние скорости течения воды постройки практически не влияют, гораздо важнее оказываются ее абсолютные значения вблизи сооружений. Также была дана количественная оценка средних глубин. С увеличением расхода воды темп роста средних глубин будет больше при наличии инфраструктурных объектов. Дороги увеличат среднюю глубину до 0,28 м при 12200 м^3/с, застройка будет давать дополнительные 10 см.

Выводы

Изучение затопления освоенных участков пойм, особенно актуально в последние десятилетия. Оценка влияния инфраструктуры (в т.ч. мостовые переходы, дорожные насыпи, жилая застройка) на возможное затопление позволяет скорректировать проектные решения и предотвратить возможные неблагоприятные последствия. Участок поймы в районе Рязани подвержен достаточно высокой антропогенной нагрузке, недоучет ее

влияния на прохождение расходов воды редких обеспеченностей может привести к катастрофическим последствиям и значительным экономическим ущербам. Отдельный интерес представляет оценка влияния детальности входной информации на результаты моделирования.

Табл. 1 Характеристики затопления поймы Оки

Расход воды, $м^3/с$	Площадь затопления (с учетом площади застройки), $км^2$	Средняя скорость воды , м/с	Средняя глубина, м	Площадь затопления (с учетом площади застройки), $км^2$	Средняя скорость, м/с	Средняя глубина, м
Пойма + русло				Пойма		
Сценарий №1 – «без дорог»						
12200	209	0,29	4,98	199	0,27	4,57
9000	198	0,24	4,70	187	0,23	4,28
7500	189	0,21	4,77	179	0,20	4,34
6000	181	0,19	4,39	171	0,18	3,95
4500	172	0,18	3,89	162	0,15	3,44
3000	161	0,17	3,15	151	0,13	2,68
1500	99	0,32	1,88	89	0,12	1,21
Сценарий №2 – «с дорогами»						
12200	210	0,29	5,25	200	0,26	4,84
9000	198	0,25	4,89	188	0,22	4,47
7500	196	0,22	4,69	185	0,19	4,27
6000	182	0,20	4,51	171	0,17	4,07
4500	172	0,18	3,95	162	0,15	3,50
3000	161	0,17	3,19	151	0,13	2,72
1500	94	0,32	1,88	83	0,11	1,17
Сценарий №3 – «с дорогами и застройкой»						
12200	198(211)	0,30	5,34	188(200)	0,27	4,91
9000	186(199)	0,26	5,00	176(188)	0,23	4,55
7500	184(196)	0,23	4,78	173(186)	0,20	4,33
6000	171(184)	0,21	4,60	161(173)	0,18	4,14
4500	162(174)	0,19	4,05	151(164)	0,16	3,57
3000	152(165)	0,18	3,27	142(154)	0,13	2,78
1500	92(104)	0,32	2,00	81(94)	0,12	1,28

Список литературы

Беликов В.В., Кочетков В.В. Программный комплекс STREAM_2D для расчетов течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2014612181. М. 2014 г.

Крыленко И.Н. Опыт применения космических снимков для компьютерного моделирования затопления территории при наводнениях на реках // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. II Международная конференция. М.: изд-во Бином. 2005.

Linear infrastructure influence on floodplain regime (by the example of Oka river in Ryazan' city area)

Fingert E.A., Krylenko I.N., Golovlev P.P., Alabyan A.M.
Moscow State University, Moscow
fingerte@gmail.com

Abstract: During last decades there is a tendency to focus on problem of urban flooding. Medieval settlements usually were been founded on terraces and valley slopes to avoid annual spring flooding. However, the intensive urbanization of last century induced spreading of city infrastructure to floodplain lands. Construction of highway embankments crossing the valley or cutting vast floodplain areas from the main channel and blocking minor arms significantly alter usual ways of floodwaters and flow depth. Oka river in Ryazan' city area has such a situation. The most outstanding flood with maximum discharge 12200 m^3/s at Ryazan' took place in April 1970 just before the construction of bridge and highway crossing the floodplain. City center and Kremlin district was flooding in high water in 2013. The 2D hydrodynamic model STREAM_2D based on numerical solution of Saint-Venant equations on hybrid mesh was used for simulations of various scenarios of floodplain development and channel engineering. According to city development plan 14 new urban district appear on floodplain area soon. We assess infrastructures influence on flood area, average levels and flow rates at different water discharges in the presence and in the absence infrastructures.

Keywords: Modelling, Fluvial dynamics, flooding

Прогнозирование возникновения водоснежных потоков. Современное состояние. Проблемы. Перспективы

***Черноус П.А.*[1], *Волков А.В.*[2], *Соколова Д.П.*[3]**
[1]*Индивидуальный предприниматель, Санкт-Петербург*
[2]*Акционерное общество "Апатит", Кировский филиал, Кировск, Мурманская область*
[3]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*
pchernous48@gmail.com

Аннотация: До настоящего времени методы прогнозирования водоснежных потоков не разработаны или почти не разработаны. В работе приведен обзор и анализ существующего положения в этой области, обозначены основные проблемы требующие решения и указаны возможные пути их решения.

Ключевые слова: Водоснежные потоки, моделирование возникновения, прогнозирование

Введение

Водоснежный поток (ВСП) – это разновидность селевого потока, твердая фаза которого представлена, главным образом, снегом или фирном. Изучение ВСП началось относительно недавно, в пятидесятых годах XX века. Термин «водоснежный поток» появился в семидесятые годы. До этого для идентификации явления использовались термины «снежный сель», «гидронапорная лавина» и некоторые другие. В англоязычной литературе для этого явления выбрано определение «slushflow». Причём, в начале все сводилось к регистрации ВСП и сопутствующих им условий (Перов, Сидорова, 1988; Hestnes и др., 1994; Божинский и др., 2001; Scherer и др., 1998). ВСП наблюдаются практически во всех районах, где имеется постоянный или сезонный снежный покров (Onesti and Hestnes, 1989), но наиболее часто в горах Арктики и Субарктики. Предлагались концептуальные модели механизмов их возникновения (Onesti, 1987) и количественные модели движения (Божинский, Назаров, 1998). Исследовались территориальные распределения ВСП (Onesti and Hestnes, 1989 Атлас снежно-ледовых ресурсов Мира, 1997; Perov, 1998), методы их предотвращения и защиты от них (Hestnes, Sandersen, 1998), влияние климатических изменений на активность ВСП (Sidorova и др., 2001; Hestnes и др., 2017)). По нашим данным, о различных аспектах ВСП опубликовано свыше двухсот работ. Значительная часть этих (опубликованных главным образом на английском языке) работ можно найти на сайте Норвежского геотехнического института - https://www.ngi.no/eng/Projects/Circum-Arctic-Slushflow-Network-CASN/Litterature-list-for-slushflow-literature. Большая часть их касается ВСП в горах Норвегии, Швеции, Исландии, различных районов России и Аляски. К сожалению, в публикациях не сформулированы даже основы количественных методов прогнозирования возникновения ВСП.

Прогнозирование ВСП. Современное состояние

Формальные методы прогнозирования ВСП, имеющие все атрибуты прогнозов (исчерпывающая полнота и однозначность формулировок, заблаговременность, масштаб и территория, для которой прогнозы составляются, методики оценки качества прогнозов) не разработаны. Оценка возможности возникновения ВСП в некотором регионе (или отдельном водосборе) в будущем везде выполняется субъективно. В некоторых работах (Сапунова, Сапунов, 2004; Jaedicke, 2013) даются указания на те или иные прогностические признаки, которые могут быть полезными, но оценки их информативности не приводятся. Делались попытки создать методы прогнозирования на основе статистических связей между отдельными метеорологическими элементами и образованием ВСП. Но до сих пор такие попытки не увенчались успехом. Две

формальные методики диагностики ситуаций, связанных с возникновением ВСП, использующие линейный дискриминантный анализ и формулу Байеса для разделения ситуаций, были разработаны для Хибин и гор Норвегии в 1996 г. в рамках совместного проекта АО "Апатит" и Норвежского геотехнического института (Chernous и др., 1998; Черноус и др., 2000). Они позволяют осуществлять фоновую диагностику ситуаций, связанных с образованием ВСП для различных высотных уровней на которых они возникают. В качестве диагностических признаков в методиках используется стандартная метеорологическая информация, приведенная с помощью интерполяции к этим высотным уровням. На их основе рассчитывалось поступление воды на условную горизонтальную поверхность за счет осадков и таяния, рассчитанного с помощью теплобалансовой модели (Harstveit, 1984). Разделение ситуаций проводится в пространстве двух переменных: суточное поступление воды и высота снега на ближайшем к месту отрыва ВСП высотном уровне. Заключения о принадлежности ситуации к одному из двух классов даются в вероятностной и категорической форме. Используя данные скользящих суток, результаты диагностики могут обновляться с периодичностью метеорологических наблюдений (обычно через три часа). Методики опробованы на независимой выборке, показали хорошее качество диагностики и уже много лет используются в оперативной работе противолавинной службы АО "Апатит" (Черноус и др., 2014).

Проблемы прогнозирования ВСП и их причины

Тем не менее, потребности практики требуют развития надежных формальных методов прогнозирования ВСП. Таких методов сейчас нет. Не предпринимались даже попытки создать количественную модель прогнозирования ВСП в отдельном водосборе. Их отсутствие можно объяснить недостаточной ясностью механизмов возникновения ВСП и недоступностью необходимой для прогнозирования исходной информации. Для использования в качестве основы прогнозирования статистических методов, методов распознавания и некоторых других методов требуются большие объемы информации, как о сходах ВСП и сопутствующих им условиях, так и об условиях, при которых ВСП не возникали. Учитывая редкость явления и относительно небольшие периоды наблюдений и размеров территорий, где они проводились, соблюсти это условие для отдельного водосбора практически невозможно. Задача заключается в формировании однородных массивов данных об условиях образования ВСП, привязанных к водосборам, а не к местам проведения измерений. Особенно это касается метеорологической информации и информации о снеге. Единственной возможностью ее решения для прошлых событий в тех местах, где специализированные наблюдения не проводились, является интерполяция. Но нет ясности, какое влияние оказывают различия в местах, где получается исходная информация для прогнозирования и водосборами, в которых возникают ВСП. Этот вопрос требует отдельного исследования. Физически обоснованные модели возникновения ВСП существуют в виде довольно общих концепций, до расчетной стадии не доведены, а проверка их соответствия реальности не проводилась. Нет ответа на вопрос - что представляет собой механизм возникновения? Начинается ли он со сдвига на подложке, отрыва в зоне растяжения или прорыва изнутри за счет избыточного давления воды в подснежном канале. Кроме того, для создания методик прогнозирования ВСП необходимо определиться с пространственным и временным масштабами, на которые эти методики распространяются, формулировками прогнозов и оценками качества прогнозирования. Для ответа на эти вопросы, помимо сбора существующей информации, придется организовывать специальные наблюдения, полевые и лабораторные и численные эксперименты. Вместе с тем уже сейчас существуют возможности улучшить ситуацию в этом вопросе. Авторы являются участниками проекта разработки основ количественных методов прогнозирования возникновения ВСП.

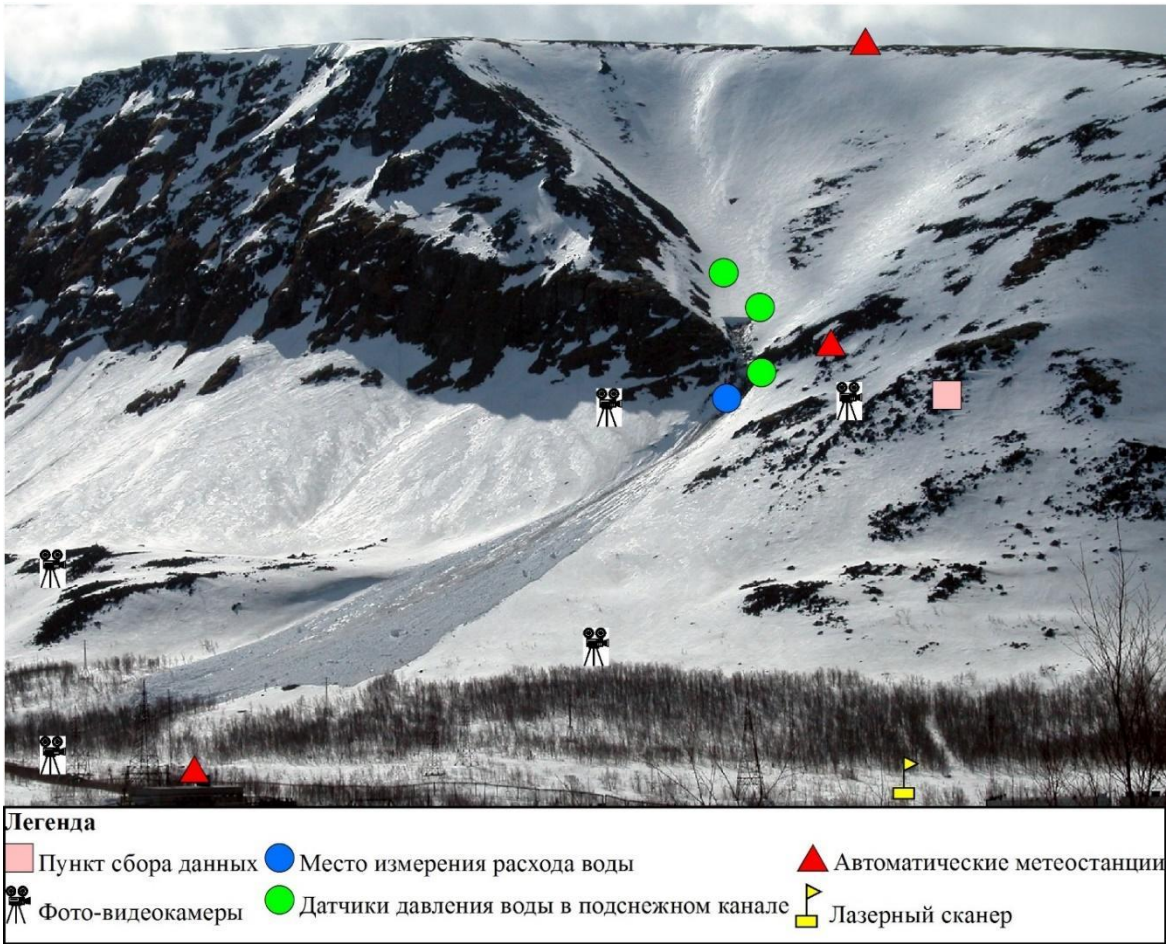


Рис. 1. Один из Хибинских водосборов, в котором возникают ВСП и где планируются специальные наблюдения

Проект разработки основ прогнозирования ВСП

В рамках проекта планируется два варианта создания прогностических моделей. В первом, будет использован подход, основанный на разделении ситуаций в пространстве предикторов (ситуации с ВСП и без ВСП) на основе вероятностно-статистических методов классификации или методов распознавания образов. Во втором, в качестве основы прогностического метода будут использоваться физически обоснованные модели возникновения ВСП (отрыва, сдвига, прорыва), а предикторами будут случайные величины. В обоих вариантах прогнозы могут быть сформулированы в вероятностной и категорической формах. Во втором варианте вероятностные оценки возможности возникновения ВСП будут получаться с помощью статистического моделирования. В качестве предикторов будет использоваться стандартная метеорологическая информация и результаты снегосъемок в водосборе, а также морфологические и морфометрические характеристики рельефа в местах отрыва ВСП и расчетные гидрологические характеристики. На их основе и с использованием модели развития снежной толщи Snowpack (https://models.slf.ch/docserver/snowpack/html/references.html) и статистического моделирования будут генерироваться поля характеристик снега (толщины, плотности, температуры, прочности) в водосборе. Характеристики стока в местах возникновения ВСП будут определяться с помощью гидрологической модели с распределенными параметрами Гидрограф (http://www.hydrograph-model.ru/index.php?menu=2). Специальные полевые измерения с высоким пространственным и временным разрешением, необходимые для создания метода прогнозирования, будут проводиться в Хибинах в 1-2 водосборах где сходят ВСП (рис. 1). Метеорологические наблюдения планируется проводить с помощью автоматических метеостанций, расположенных на различных

высотных уровнях непосредственно в водосборах или вблизи них. Там же будут проводиться измерения температуры внутри снежного покрова и на его поверхности, структуры снега и плотности его слоев и их прочностных характеристик. При выполнении проекта будут использованы гидрометеорологические данные с ближайших метеостанций для оценки качества их интерполяции в места зарождения ВСП. Помимо указанных наблюдений планируется проводить измерения толщины снежного покрова в водосборах с помощью наземного лазерного сканирования с помощью специализированного для сканирования снежных поверхностей сканера Riegl VZ-6000 с высокой точностью (ошибка не более 10 см) и высоким пространственным разрешением (не более 1 м). Гидрологическая часть наблюдений будет состоять из измерений гидростатического давления в подснежных каналах, уровней и расходов воды в нескольких створах водотоков. Регистрация ВСП будет осуществляться с помощью специализированного комплекса сигнализации (Пильгаев и др., 2017) и автономных камер видеонаблюдения. Для калибровки и тестирования метода будут использованы архивные данные, имеющиеся для Хибин и других районов. В ходе выполнения проекта планируется проанализировать и количественно оценить источники ошибок, влияющих на качество прогнозирования. Работы рассчитаны на несколько лет. Проект открыт для всех желающих принять в нем участие.

Список литературы

Атлас снежно-ледовых ресурсов Мира. Том I и II. М., Российская Академия Наук, 1997.
Божинский А.Н., Евтеев А.О., Мягков С.М., Перов В.Ф., Сапунов В.Н., Сапунова Г.Г., Фрейдлин В.С. Водоснежные потоки Хибин. М., Изд-во МГУ, 2001. 168.

Божинский А.Н., Назаров А.Н. Двуслойная модель водоснежного потока в журнале Вестник Московского университета. Серия 5: География, издательство Изд-во Моск. ун-та (М.), № 5, 1998. 22-27

Перов В.Ф., Сидорова Т.Л. Метеорологические условия формирования водоснежных потоков. МГИ, вып. 64, 1988. 41-47.

Пильгаев С.В., Черноус П.А., Филатов М.В., Ларченко А.В. Федоренко Ю.В., Агеев И.В. Комплекс лавинной сигнализации и результаты его испытаний. III Международный симпозиум «Физика, химия и механика снега» сборник трудов, Южно-Сахалинск, Сахалинский филиал ФГБУН ДВГИ ДВО РАН, 2017. 31-36.

Сапунова Г.Г., Сапунов В.Н. Механизм и условия образования водоснежных потоков ранневесенних оттепелей (на примере Хибин). В сб. Снежные лавины, сели и оценка риска. М. Географический факультет МГУ, 2004. 59-71.

Черноус П.А., Тяпкина О.Ю., Хестнес Е., Баккехуа С. Диагностика и прогноз ситуаций, связанных с образованием водоснежных потоков. МГИ. Вып. 88. 2000. 113-117.

Черноус П.А., Мокров Е.Г., Тяпкина О.Ю. Прогнозирование водоснежных потоков в Хибинах. Опыт и перспективы. III Международная конференция «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» сборник докладов, Южно-Сахалинск 22-26 сентября 2014 г., изд. Сахалинского филиала ФГБУН ДВГИ ДВО РАН Южно-Сахалинск, 2014. 159-162.

Chernouss P., Tyapkina O., Hestnes E., Bakkehoi S. The differentiation of thaws in connection with slushflow occurrences. Proceedings of the International Conference in Voss, NGI, publication 203, Oslo, 1998. 89-93

Gude, M., & Scherer, D. Snowmelt and slushflows: hydrological and hazard implications. Annals of Glaciology, 26, 1998. 381–384.

Harstveit K. Snowmelt modelling and energy exchange between the atmosphere and a melting snow cover. Bergen. University of Bergen. Geophysical Institute. (Scientific Report 4.) 1984.

Hestnes E., Bakkehoi S., Sandersen F., Andersen L. Weather and snowpack conditions essential to slushflow release and downslope propagation. International Snow Science Workshop, Snowbird, 1994. 40-57.

Hestnes E., Bakkehoi S., Jaedicke C. Global warming reduces the consequences of slushflows. III Международный симпозиум «Физика, химия и механика снега» сборник трудов, Южно-Сахалинск, Сахалинский филиал ФГБУН ДВГИ ДВО РАН, 2017. 95-100.

Hestnes E., Sandersen F. Slushflow hazard control. A review of mitigative measures. Proceedings of the International Conference in Voss, NGI, publication 203, Oslo, 1998. 140-147.

Hestnes E. Slushflow hazard – Where, why and when? 25 years of consulting and research. *Annals of Glaciology*, 26, 1998. 370-376

Jaedicke C., Hoydal O.A., Midtbo K.H. Identification of slushflow situations from regional weather models. International Snow Science Workshop, Grenoble – Chamonix Mont-Blanc. 2013. 177-182.

Onesti L.J., Hestnes E. Slushflow questionnaire. *Annals of Glaciology*, 13, 1989. 226-230.

Onesti L.J. Slushflow release mechanism: A first approximation. Avalanche Formation, Movement and Effects (Proceedings of the Davos Symposium, September 1986), *IAHS Publ*. no. 162, 1987. 331-336.

Perov V.F. Slushflows: Basic properties and spreading. 25 Years of Snow Avalanche Research, Voss, 1998. 203-209.

Scherer D., Gude M., Gempeler M., Parlow E. Atmospheric and hydrological boundary conditions for slushflow initiation due to snow melt. *Annals of Glaciology*, 26, 1998. 377-380.

Sidorova T., Belaya N., Perov V. *Annals of Glaciology*, 32, 2001. 237-240.

Slushflow release forecasting. State of the art. Problems. Perspectives

***Chernous P.A.*[1], *Volkov A.V.*[2], *Sokolova D.P.*[3]**

[1]*Individual entrepreneur, St. Petersburg*

[2]*"Apatit" JSC, Kirovsk Branch, Kirovsk, Murmansk Region*

[3]*St. Petersburg State University, St. Petersburg*

pchernous48@gmail.com

Abstract: Up to now, methods for predicting slushflow release have not been developed or almost not developed. The paper reviews and analyzes the current situation in this field, identifies the main problems that need to be addressed, and identifies possible solutions.

Keywords: Slushflows, simulation of release, forecasting

Оценка влияния преобразований русла реки Адагум на прохождение паводков в окрестностях Крымска с учётом пропускной способности мостовых проёмов

Шевердяев И.В.
ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия
ig71089@yandex.ru

Аннотация: В работе оценивается эффективность противопаводкового преобразования русла реки Адагум с учётом возможного влияния мостовых сооружений как дамб во времени прохождения опасных паводков. Для этого проводятся расчёты сценариев прохождения опасного паводка в окрестностях Крымска в условиях естественной и изменённой морфологии русел при различной пропускной способности мостовых проёмов. В гидрологической модели HEC-RAS была сформирована регулярная расчётная сетка, деформированная линиями основных мостов – железнодорожного перед Крымском и трёх автомобильных в пределах города. Для имитация вариантов морфологии русла использовались цифровые модели местности, построенные по результатам геодезической съёмки естественного и топографическим планам преобразованного русла реки Адагум. Использованные материалы представлены в проектной документации, находящейся в открытом доступе. Для границ ячеек, примыкающих к мостам, задавались условия пропускной способности, имитирующие влияние на неё замусоренности мостовых проёмов. Расчётная сетка охватывает застроенную территорию Крымска и окрестностей, охваченных противопаводковыми преобразованиями. В сценариях имитировалось 3 варианта замусоренности мостовых проёмов для двух вариантов морфологии русла реки Адагум: полностью открытые, полностью закрытые и с переменным режимом пропуска воды для естественного и преобразованного русла. Рассчитанное прохождение паводка рассматривалось с точки зрения формирования зоны затопления с распределением глубин, максимальной скорости и кинетической энергии водного потока. Результаты показывают, что представленные противопаводковые сооружения обладают должной эффективностью при условии открытых мостовых проёмов. При закрытых и переменных пропускных режимах мостовых проёмов зоны затопления при прохождении опасных паводков охватывают значительную часть городской застройки, однако в варианте изменённого русла затопление происходит немного позже, скорости течения увеличены в русле и снижены на пойме, максимальные уровни затопление снижены. Это показывает, что для поддержания противопаводковой роли преобразования русла необходима регулярная очистка поймы от мусора и реконструкция мостов с учётом их возможного влияния на прохождение опасных паводков.

Ключевые слова: Паводок, Северо-Западный Кавказа, наводнение в Крымске, мостовые проёмы, трансформация русла.

Введение

В последние десятилетия на реках Северо-Западного Кавказа дождевые паводки приводят к большому материальному ущербу, нередко с человеческими жертвами. Наибольший паводок по величине общественного резонанса в регионе произошёл 6-7 июля 2012 года, когда в результате прохождения паводка по официальным данным в Крымске погибло 148 человек (О ходе расследования…).

Среди антропогенных причин значительного ущерба кроме прочего выделяется роль мостовых проёмов в усилении опасности прохождения паводка. В работе Котлякова и др.

(2012) выделена особая роль проёмов под капитальными мостами в Крымске (один железнодорожный мост и три автомобильных): бытовой и пойменный мусор создал пробку под мостами, это привело к подпору, затопившему пойму и надпойменную террасу. Другая точка зрения (Матишов и др., 2014) состоит в том, что количество этих сооружений в бассейне Адагума не позволяет выделить особую роль только основных мостов, резкий скачок обусловлен не влиянием одного-двух мостов, а, скорее, наложением влияния многих мостов и интенсивностью стокоформирующих процессов. На основе первого суждения в 2014 году начаты работы по защите территорий Крымского района Краснодарского края от негативного воздействия вод рек Адагум, Неберджай, Баканка (Выполнение подрядных…). Проектная документация проводящихся работ находится в открытом доступе, что позволяет использовать эти материалы для оценки их противопаводковой эффективности.

Материалы и методы

В качестве материалов в работе были использованы:

– результаты топографической съёмки русла реки Адагум в конце 2012 года и проектные противопаводковые сооружения, представленные в проектной документации

– динамика расходов на слиянии рек Баканка и Неберджая, рассчитанная на основе реконструкции паводка по работам Матишова и др. (2014)

– растры шероховатости поверхности, разработанные на основе открытых данных Openstreetmap (2015)

– капитальные сооружения на территории Крымска и окрестностей на основе открытых данных Openstreetmap (2015).

На участке русла р. Адагум преобразования рассчитаны на прохождение паводка расходом 1040 $м^3/с$ и состоит из трёх участков: с трапециевидным поперечным сечением выше плотной застройки Крымска по течению (на протяжении 6061 м), с лотком прямоугольного сечения в плотной застройке (на протяжении 4278 м) и с трапециевидным руслом ниже Крымска (6537 м). Русло с трапециевидным поперечным сечением означает формирование плоского земляного дна шириной 31–45 м (возрастает вниз по течению), с бортами высотой 5,8 м и шириной 11,6 м; на бортах сооружаются дамбы обвалования с верхней площадкой шириной 4,5 м. В центральной части города Крымска река Адагум застроена жилыми и промышленными зданиями. Поэтому в центральной части города на длине 2,131 км русло выполняется в виде лотка из монолитного железобетона. Ширина лотка в свету 35,0 м. Толщина вертикальных стенок лотка – от 0,3 м сверху до 0,75 м в основании. Толщина днища колеблется от 0,75 до 0,45 м. Днище лотка имеет уклон i к центру лотка, равный 0,043. Как и в земляном русле, по обоим берегам реки устраиваются эксплуатационные проезды шириной 4,5 м. Учитывая, что ширина реки по дну в земном русле и в бетонном лотке неодинакова, для создания благоприятных гидравлических условий на выходном участке лотка предусмотрен переходной участок из монолитного железобетона с водобойным колодцем глубиной 1,5 м. Угол расширения русла составляет 22°. На входном участке имеется переходная зона, выполненная в каменном креплении. На участках русла, обвалованных дамбами, предусматривается устройство ливнеотводных сооружений для отведения ливневых стоков с прилегающих территорий в русло реки.

На основе материалов проектной документации с учётом приведённых выше сведений были построены цифровые модели рельефа Крымска и окрестностей в естественном и преобразованном варианте русла реки Адагум, которые были преобразованы в цифровые модели местности путём наложения на их поверхности значений высоты капитальных сооружений. Проводился расчёт прохождения паводков в течение 48 часов 6-7 июля 2012 года. Для этого были выработаны сценарии режимов пролётов капитальных мостов (железнодорожного перед и трёх автомобильных в пределах Крымска):

– открытые мосты (сценарий 1), проёмы мостов не забиваются мусором во время прохождения паводка, их пропускная способность постоянно сохраняется и определяется геометрией проёмов;

– закрытые мосты (сценарий 2), проёмы мостов закрыты на протяжении всего паводка, что приводит к формированию подпоров с последующим переливом воды во время паводка;

– мосты с переменным режимом (сценарий 3), Проёмы мостов открыты, как в первом сценарии, до 21:00 6 июля, затем закрываются наглухо к 00:00, затем прорываются в 3:00 7 июля; свободная высота составляет 8 и 6,5 м соответственно.

В рабочей и проектной документации, разработанной «Кубаньводпроектом», декларируется, что канализование русла позволит уберечь от затопления застроенные территории Крымска и его окрестностей при прохождении паводка 1%-ной обеспеченности (1040 м^3/с). Показатели шероховатости канализованного дна при расчётах соответствовали проектным: 0,03 для трапециевидного земляного русла и 0,018 для бетонного лотка в плотно застроенной части Крымска. Проёмы мостов при этих расчётах принимались свободными, однако сама конструкция мостов соответствовала состоянию на 2012 год.

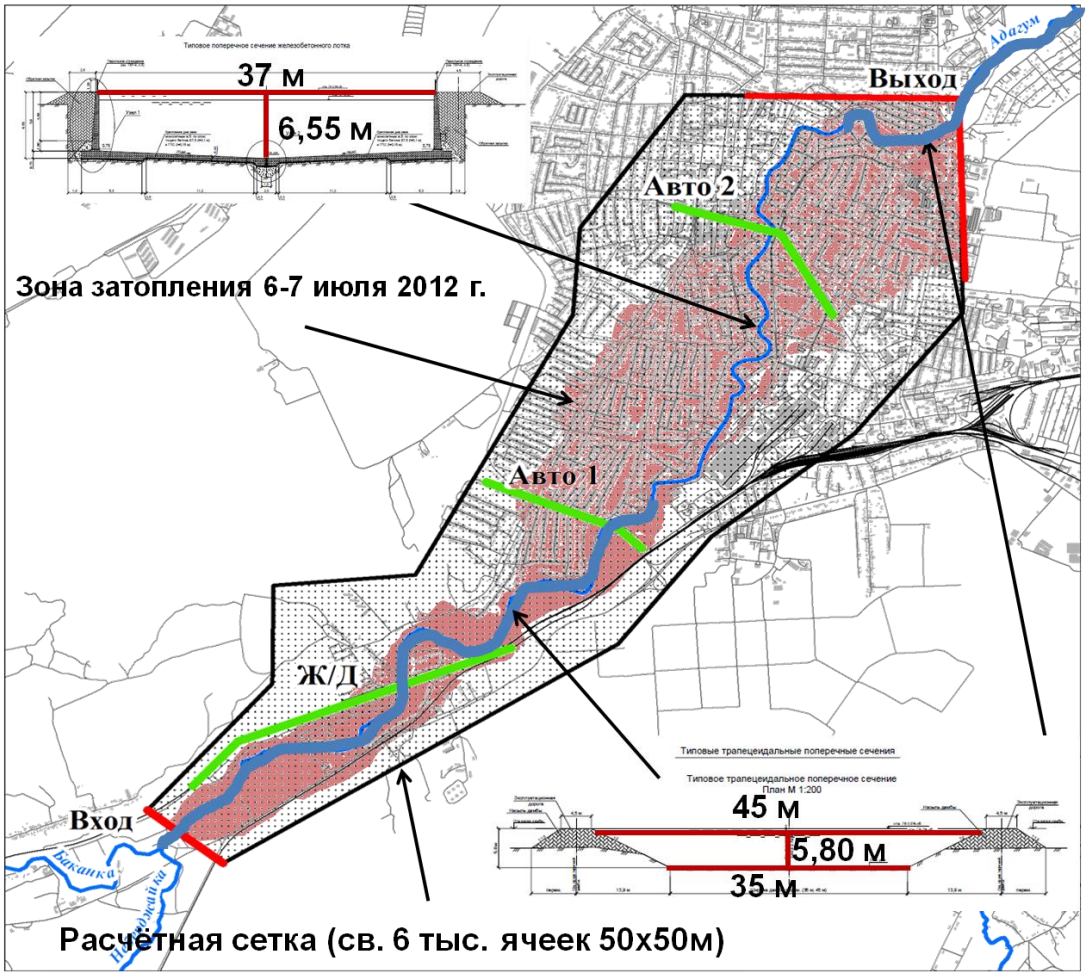


Рис.1 Сечения преобразованного русла, зона затопления 6-7 июля 2012 года и расчётная сетка в окрестностях Крымска

Гидрологическая модель HEC-RAS позволяет рассчитывать двумерные потоки в пределах заданных площадей. В работе использовалась регулярная сетка, состоящая из более 6 тыс. ячеек 50 на 50 м, покрывающая более чем 15 км^2. Она была деформирована тремя мостами, геометрические свойства которых были заданы как свойства границ примыкающих ячеек. В расчётной сетке предусмотрена граница входа и выхода водного потока, описываемого динамикой расходов на слиянии рек Баканка и Неберджай. На рисунке 1 представлена используемая расчётная сетка, зона затопления во время паводка 6-7 июля 2012 года и размещение типовых сечений противопаводковых преобразований русла реки Адагум.

Табл.1 Площади различных классов опасности по уровню воды, максимальной скорости, кинетической энергии водного потока и интегральному показателю опасности, в км^2

		Сценарий 1 (откр.)		Сценарий 2 (закр.)		Сценарий 3 (перем.)	
		естеств.	измен.	естеств.	измен.	естеств.	измен.
Глубины	слабое (до 0,8 м)	1,7	2,4	1,6	2,4	1,7	3,2
	среднее (0,8-1,2 м)	1,4	0,4	1,6	1,5	1,5	1,5
	сильное (более 1,2 м)	4,4	1,1	4,7	3,1	4,5	2,1
Макс. скорости	слабое (до 1 м/с)	5,7	2,9	6,1	5,8	5,8	5,5
	среднее (1–2 м/с)	1,6	0,3	1,6	0,7	1,7	0,5
	сильное (более 2 м/с)	0,2	0,7	0,2	0,5	0,2	0,8
Кинетической энергии	слабое (до 10 кгс)	7,4	3,3	7,8	6,6	7,6	6,1
	среднее (10–25 кгс)	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1	0,4
	сильное (более 25 кгс)	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,3
Всего	слабое	3,0	2,6	3,0	3,8	3,1	4,5
	среднее	4,3	0,7	4,7	2,7	4,4	1,6
	сильное	0,2	0,6	0,2	0,5	0,2	0,7
Всего затоплено		7,5	3,9	7,9	7,0	7,7	6,8

Результаты

Результаты расчётов сценариев позволили рассматривать динамику затопления Крымска и окрестностей по распределению глубин, времени затопления и максимальным скоростям. Сравнение площадей зон с различными глубинами, максимальными скоростями и кинетической энергии представлено в таблице 1. Глубины затопления, максимальные скорости и кинетическая энергия водных потоков в отдельности не дают полного представления об опасности прохождения паводков в Крымске. Вследствие этого были построены интегральные схемы опасности прохождения паводков. Различные растры опасности классифицировались по трём выделенным классам. Их значения для каждого сценария складывались, и было получено распределение опасности прохождения паводков по 9-ти классам. Суммированные классы были переклассифицированы в три класса опасности по 6-ти сценариям.

Представленные результаты показывают, что преобразование русла приводит к сокращению затопленной площади во всех трёх вариантах пропускной способности мостов, однако существенное влияние оказывается только в случае открытых мостовых проёмов. Большие площади занимает низкий уровень воды, в то время как увеличиваются площади с более опасными скоростями потока и соответственно кинетической энергией потока.

Выводы

На основе проектной документации проводимых работ с помощью HEC-RAS была построена гидрологическая модель долины реки в Крымске и его окрестностей в условиях естественного и преобразованного русла. В ней была предусмотрена имитация изменения пропускной способности проёмов под капитальными мостами. Были проведены расчёты прохождения паводка 6-7 июля 2012 г. по трём сценариям пропускной способности мостов (с открытыми, с закрытыми и с учётом постепенного снижения пропускной способности с последующим прорывом) для естественной и преобразованной морфологии долины. Сравнение результатов показало, что эффективность проводимого преобразования русла зависит от роли мостовых проёмов.

Список литературы

Выполнение подрядных работ по объекту: «Защита территорий Крымского района Краснодарского края от негативного воздействия вод рек Адагум, Неберджай, Баканка». Вынос инженерных коммуникаций» Закупка № 0318200063914002445 URL: http://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0318200063914002445 (дата обращения 14.04.2016).

Котляков В.М., Десинов Л.В., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Лихачёва Э.А., Маккавеев А.Н., Медведев А.А., Рудаков В.А. Наводнение 6-7 июля 2012 года в Крымске. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 6, 2012.: 80-88.

Матишов Г. Г., Клещенков А. В., Шевердяев И. В. Катастрофический паводок на Западном Кавказе в июле 2012 года: причины и последствия. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 4, 2014.: 291-303.

О ходе расследования уголовных дел, возбужденных по фактам массовой гибели людей вследствие наводнения в Краснодарском крае. Официальный сайт Следственного комитета Российской Федерации URL: http://sledcom.ru/news/item/516385.

OpenStreetMap contributors. Planet dump, 2015, [Data file from 21.04.2017]. URL: https://planet.openstreetmap.org [Online].

Evaluation of the influence of the Adagum river bed transformation on the flashflood passage in Krymsk neighborhood taking into account the capacity of the bridge openings

Sheverdyaev I.V.
SSC-RAS, Rostov-on-Don, Russia
ig71089@yandex.ru

Abstract: In the paper the effectiveness of flood control channel transformation of the river Adagum, taking into account the possible impact of bridge structures as dams during the passage of dangerous floods, is assessed. For this purpose, calculations of scenarios for the passage of a dangerous flood in the vicinity of Krymsk in conditions of natural and altered channel morphology with different throughput of bridge apertures are carried out. In the hydrological model HEC-RAS, a regular grid was computed, deformed by the lines of the main bridges - the railway bridge in front of the Krymsk and three car bridges within the city limits. To simulate the variations of the channel morphology, digital terrain models were constructed, based on the results of geodetic survey of the natural and topographic plans of the transformed channelof the Adagum river. The materials used are presented in the project documentation, which is publicly available. For the boundaries of the cells adjacent to the bridges, the capacity conditions were set, simulating the influence of the litteriness of the bridge openings on it. The computational grid covers the built-up territory of the Krymsk and the environs covered by anti-flood transformations. In the scenarios, three variants of the litteriness of the bridge openings were simulated for two variants of the Adagum river bed morphology: fully open, completely enclosed and with variable water flow for the natural and transformed channel. The calculated flood passage was considered from the point of view of formation of the flood zone with depth distribution, maximum velocity and kinetic energy of the water flow. The results show that the presented anti-flood structures have proper efficiency under the condition of open bridge apertures. With closed and variable throughputs of bridge openings, the flood zone during the passage of dangerous floods covers a significant part of the urban development, but in the version of the transformed channel, flooding occurs a little later, flow rates are increased in the channel and lowered in the floodplain, maximum flooding levels are reduced. This shows that in order to maintain the flood control role of the river bed transformation, regular cleaning of the floodplain from debris and the reconstruction of bridges are necessary, taking into account their possible impact on the passage of hazardous floods.

Keywords: Flood, North-Western Caucasus, Krymsk flood, bridge openings, channel transformation

An experimental overview of the concepts and issues in the way of landslide susceptibility and hazard assessment studies

***Aiding Kornejady*[1], *Hamid Reza Pourghasemi*[2], *Majid Ownegh*[3]**

[1] *Department of watershed management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran*

[2] *Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran*

[3] *Department of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran*

aidin.kornejady@gmail.com

Abstract: Landslides are one of the main parts of a geological-geomorphological cycle of earth and responsible for reshaping the landscape. At a theoretical stage, different points of view have led to diverse terminologies, behaviorology, and concepts of a landslide event. Inevitably, inhabiting nearby areas prone to such hazard has caused notable socio-economic losses and casualties worldwide. In order to coordinate the terms and marginalize the conceptual differences, a semi-consensus has formed around a multistage practical flowchart including (1) susceptibility assessment, (2) hazard assessment, (3) risk estimation and evaluation, and, (4) risk management/ mitigation. The present study is an experimental overview of the most common concepts and issues regarding susceptibility and hazard assessment. The first section is devoted to (I) terminology, (II) landslide inventory and classification, (III) inventory enrichment technique, (d) predisposing and triggering predictors, (e) multicollinearity drawbacks, (f) landslide susceptibility models, and (g) goodness of fit, predictive power, robustness, and supplementary validation tests. The second section points out the temporal and magnitude probability assessment of landslides and the barriers in the way of such analyses, mainly data availability issue. The last section is given over to the challenges related to experiencing new and unexpected events.

Keywords: Spatial probability, Temporal probability, Magnitude probability.

1. Susceptibility assessment

I. Terminology

Landslide is defined as a product of slope instability due mainly to a set of predisposing and triggering factors. Gravity is the essential force for such failure. Unlike the other natural hazards, landslides exhibit some activity symptoms prior to the total failure. This has shaped a consensus among the scientists that landslide is more manageable than other hazards. This also stimulated researchers, especially model developers, to study and model landslide behavior with more enthusiasm. Dealing with this destructive phenomenon, the first and foremost question comes to mind is that: *where will landslides occur?* This will inevitably raise the probability terms as "*where*" and *"will"*, in this sense, bear on notification and predicting notions. Susceptibility, as the name implies, refers to the proneness of an area to landsliding which, itself, brings up the location subject (i.e. where). To conduct a susceptibility assessment, the following tasks are essential.

II. Landslide inventory and classification

Landslide inventory is the most pivotal stage for any sort of landslide study. This is mostly carried out by geoinformatics during field surveys, including a global positioning device, geographical/geospatial information system (GIS), or remote sensing techniques such as satellite

images, aerial photography, object-oriented detection, etc. Landslides manifest themselves in different types. Each type is the result of the omnipresence of different causative predictors. Thus, different shapes, sizes, runout distances, velocities, and behaviors are expected for different types. Varnes (1978) suggested the most simple, yet practical, classification, based on which landslides can be categorized into six classes in terms of types of movement and materials: 1) falls (i.e. high-bluff peel-offs), 2) topples, 3) slides (rotational and translational), 4) flows (i.e. groundwater blow-outs), 5) lateral spreads, and 6) complex ones. Some may occur as a slow-moving landslide (slides) or an instant failure (falls, topples, debris flows). Depending on the depth, they can also be classified as shallow (<3 m deep) and deep-seated (>3 m deep) landslides. Different scholars have been trying to produce a single susceptibility map for all failure types. However, this is somewhat compromised due to the fact that each type can be influenced by different predictors and, therefore, it holds a particular behavior. Producing type-based susceptibility maps will help us to detect each type's spatial pattern and the variables involved in such occurrence. It is worth noting that landslide classification should be carried out by a team of experts including geologists, geomorphologists, civil engineers, hydrologists, etc.

III. Inventory enrichment technique

From a technical viewpoint, each landslide owns a 3D shape in space with a specific length, width, and depth. Since one might have to model hundreds of landslides, for instance in a watershed, estimating the depth of each landslide would not be practical and is indeed time-consuming. Hence, most pieces of research deal only with the surface (2D) of each landslide (type), especially those who work on susceptibility. To date, different strategies have been employed to record and prepare a landslide inventory, in which each refers to the main part of a landslide anatomy that one would pick to set the location holding a GPS device, namely, top (crown), centroid, toe, and, the newest technique termed as pixel-based. The latter has been more popular since it results in more landslide samples as each pixel converts into a point. For instance, let's say we have a 5-ha landslide (in a raster format), and five predictors (thematic raster layers with 10×10 m resolution). Through the raster-to-point convert processes, we would have 500 landslide samples, while each of other three inventory techniques would result in only one sample for the whole failure area. This is why pixel-based landslide inventory is referred to as a data enrichment technique, thereby it helps the model learn most wisely.

IV. Predictors: predisposing and triggering

As abovementioned, each landslide is the result of an interaction among a unique set of predictors. Generally, the influential factors may be included in one of the following categories: topographical, water-related, climatic, and geo-environmental predictors. From the functional point of view, predictors can be categorized into two sets of predisposing and triggering ones. Predisposing predictors are the very first variables that make a slope susceptible to landsliding. Slope degree and lithological formations are of the main factors of this category. Predisposing factors are assumed to stay intact during the time; however, human activities can always alter the configuration of a landscape. On the other hand, a slope would not collapse if it has not been triggered yet/enough. Triggering factors mainly include an intense rainfall, earthquake, groundwater table rise, and anthropological activities such as slope manipulation. Choosing the right set of factors as inputs to the models have remained a challenge, since the landslide is a local phenomenon and one cannot give any prescription for other locations and study areas and, therefore, employing an expert team would be quite helpful. Moreover, using more novel models (e.g. data mining models) can ease this process as they give valuable outputs on factor importance.

V. Multicollinearity drawbacks

Multicollinearity implies the strong correlation among thematic predictors. If this is not taken care of, it will result in bias in the model's results. There are some methods that can help

one detect such feature, including principal component analysis (PCA), variance inflation factor (VIF), and tolerance index (TI). The last two ones are more popular nowadays due to their straightforward and robust mathematical algorithms. By detecting the strongly correlated factors (for instance altitude and rainfall), one should omit one factor based on expertise derived mainly from field surveys.

VI. Landslide susceptibility models

According to a general consensus, landslide susceptibility models can be categorized into four classes: 1) inventory-based models that require collecting some data on landslide distribution, type of movement, rate of movement, and type of displaced materials through field surveys and other data interpretation methods, 2) heuristic approaches that consists of innovational and mostly knowledge-driven data combination techniques, 3) statistical and probabilistic methods that compile a set of assumptions and theories in a mathematical context in order to minimize the subjectivity of the models related to the previous category, and 4) deterministic site-specific methods which mainly rely on slope stability analysis. Choosing the right model directly depends on the scope of any landslide study. For instance, if assessing the whole landslides of a watershed matters the most, new developed probabilistic data mining models, also referred to as machine learning models, are the most recent scientific products. They are capable of recognizing more complex natural patterns and can give various graphical and tabular results to the scholars and end users.

VII. Goodness-of-fit, predictive power, robustness, and supplementary validation tests

The black-box configuration of the novel models, especially data mining models, necessitates to check and validate the models' accuracy and their performance. This mainly relies on the ground truth. That is, one should split the collected landslide samples into different categories, each can function in a different way. Ideally, some scientists recommended to split the data into three groups: 1) train-set used for training and fit the model and to help it capture the general image/pattern of the phenomenon under study, 2) validation-set used to assess the prediction error for model selection, and 3) test-set to assess the generalization error of the final chosen model.

When facing a few landslide samples, one could split the data into only two sets of train and validation. There are different sample partitioning strategies such as random sampling, Mahalanobis distance, expert-choice splitting, temporal sampling, and specified-site related partitioning methods. Once we finished categorizing data, different aspects of a model are now testable. Receiver operating characteristic (ROC) curve is at the center of all these analyses. The area under the ROC curve (AUC) is representative of model's accuracy/ performance. As it is derived from model confusion matrix (representing sings of progress and failure of a model), one can estimate the AUC via plotting true positive rate (right detection of a landslide location) on the y-axis as a function of the false positive rate (wrong detection of a non-landslide location as a landslide location) on the x-axis. Goodness-of-fit indicates that how good a model is calibrated and, equivalently, how good the model fits on the training set. So, it highlights the learning ability of the model. Predictive power and generalization capacity of a model relies on the test set, that is, how good a model can predict the kept aside test/ validation set after the model is built/learned. This property (predictive power) will be violated if a model is overfitted on the training set. Some models are sensitive to overfitting which can be fixed by equipping models to some regularization parameters (as in maximum entropy model). Robustness points out how a model is sensitive to inputs. As one may choose random sampling for partitioning landslide data (mentioned earlier), different sets are, therefore, expected in each partitioning iteration and different AUC values might be derived. The smaller the AUC values of a model change through

different sample alterations, the higher robustness and the lesser sensitivity rate it holds. Other supplementary analyses include the Chi-square test (representing spatial differentiation) and practicality (representing the ability to produce a susceptibility map that focuses more on highly susceptible areas and gives more compendious results).

2. Hazard assessment

I. Terminology

Hazard gives more inferences compared to susceptibility. In fact, hazard answers more follow-up questions regarding landslide occurrence: *Where, when, and how big will a landslide occur?* Therefore, susceptibility is a proper subset of hazard. That is, the hazard is formed of spatial, temporal, and magnitude probabilities as explained below.

II. Temporal probability

Temporal probability of landslide occurrence has been quite a challenge worldwide due to the lack of a comprehensive monitoring/reporting system, except for those countries that have constantly witnessed destructive landslides such as USA (run by USGS), UK (run by BGS), Canada, Norway, China, Italy (carried out by ISPRI), Nepal, etc. (Blikra et al., 2006; Pennington et al., 2015; Herrera et al., 2018). Still, even in these countries, the monitoring systems are more focused on the biggest and the most destructive landslides, even though a landslide is not just an isolated phenomenon, but it can frequently occur, influence, and reactivate the surrounding slopes and other dormant landslides. Having a rich database of the time of occurrence has made the nations capable of using models in a more precise manner. In other words, if we have access to the exact date of a group of landslides triggered by the same element (e.g. rainfall-triggered), we can predict the future probability of occurrence by assessing the correlation between those (existing) landslides and the triggering agent and projecting it to the future for different return periods. However, most countries suffer from data paucity that has forced them to reach out to simpler, yet acceptable, models. Binomial and Poisson probability models are the most common discrete- and continuous-time models in this regard (Haneberg, 2000; Coe et al., 2004).

III. Magnitude probability

Magnitude by definition is the destructiveness of a landslide event. Best case scenario, there would be some magnitude-frequency curves available that can be derived mostly from slow-moving earth-flows. Otherwise, frequency-area (2D surface) would be one practical alternative that has been proved to be compatible with some probability distribution functions (PDFs) such as (truncated) inverse gamma or double Pareto PDFs.

3. Unknown- unknowable unknowns: Black Swan theory

All in all, there are many uncertainties to seek through. Outliers still remind us that there are things missing in our calculations; that our models cannot withstand the heavy shifts. This is even more mirrored in the studies devoted to natural hazard as they are interlaced with complex patterns. Black swan theory, metaphorically implying the unexpected highly improbable events, does apply to landslide science. The 2014 Oso mudslide could be one good example that almost discredited all the results derived from frequency- and history-based models and unexpectedly caused huge losses and fatalities. Maybe, *"the past is the key to the future"* is getting incapacitated by witnessing more and more unexpected and unexperienced events. Some stated that by *"past"* one should think of *"the recent past"* so that it could reflect the new reality of nature, but still, outliers are undeniably questioning the history-based models. In this regard, some scientists and researchers are conducting worthwhile studies focused on more flexible models such as Bayesian inference. Bayesian inference updates the probability for a hypothesis as more evidence or information becomes available.

Reference

Blikra, L. H., Longva, O., Braathen, A., Anda, E., Dehls, J. F., & Stalsberg, K. Rock slope failures in Norwegian fjord areas: examples, spatial distribution and temporal pattern. In Landslides from massive rock slope failure, 2006. pp. 475-496, Springer, Dordrecht.

Coe, JA., Michael, JA., Crovelli, RA., Savage, WZ., Laprade, WT., & Nashem, WD. Probabilistic assessment of precipitation-triggered landslides using historical records of landslide occurrence, Seattle, Washington. *Environmental and Engineering Geoscience*, 2004.10(2), 103-122.

Haneberg, WC. Deterministic and probabilistic approaches to geologic hazard assessment. *Environmental & Engineering Geoscience*, 6(3), 2000. 209-226.

Herrera, G., Mateos, RM., García-Davalillo, JC., Grandjean, G., Poyiadji, E., Maftei, R., ... & Trigila, A. Landslide databases in the Geological Surveys of Europe. Landslides, 15(2), 2018. 359-379.

Pennington, C., Freeborough, K., Dashwood, C., Dijkstra, T. Lawrie, K. The National Landslide Database of Great Britain: Acquisition, communication and the role of social media. *Geomorphology*, 249, 2015. 44-51.

Varnes, DJ. Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides, analysis and control, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 1978. pp. 11–33.

Modeling of unsteady water movement on the example of water-rock-flows and floods

Kurovskaia V.A., Vinogradova T.A.
St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.
viktoriiakurovskaia@gmail.com

Abstract: Over 9 months in 2017/2016 the number of people affected by dangerous hydrological and geological phenomena amounted to more than 48,000 people. In total, from 1990 to 2013, there were 1,420 emergencies associated with mudflows and floods, accounting for 30 percent of the total number. Calculation of mudflows and floods was carried out on 2 objects by applying model of unsteady water movement, on the section of the river Ardon and the Shiroky Channel. As a result, the values of the main characteristics of water-rock-flows and flash floods on 2 objects were obtained, such as velocity, water- level and discharge. Besides, modeling was conducted for several variants with modifying the initial information and with a change in code of roughness. In addition, in this research the values of water velocities and discharges at which the flooding of the territory begins were calculated.

Keywords: modeling, debris flow, flood, unsteady flow, velocity, discharge, code of roughness

Introduction

Modeling of dangerous hydrological phenomena still remains one of the most complicated in modern science. There are several reasons for it. Firstly, suddenness and rarity of these phenomena, as well as lack of organized system of observations. Secondly, complex approaches of whole series of sciences like hydrology, physical (engineering) geology, soil mechanics, rheology (science of the flow of substances and materials), meteorology and climatology, theory of mathematical models, mathematical statistics, computational mathematics, geography is required for detailed understanding of the process. The aim of this research was to calculate unsteady water movement of water-rock-flows and floods. The following tasks were performed:

1. Calculation of water-rock-flows and flash floods with different parameters
2. Outcome analysis of the study

Object of study

For this research information was collected from JSC "Sevkavgiprovodkhoz" report on the Ardon river and its tributary the Buddon river as well as data for the Shirokoy Channel. The length of the Ardon is about 102 km, the watershed area is estimated at 2700 km^2. Formed by the merger of Mamisondon, Nardon, Adaykom and Tsmiakomdon rivers, originating in the glaciers of the Main Caucasus Range. The Buddon river is right-bank tributary of the Ardon, debouch into the river 58 km from the mouth opposite the upper part of the Mizur village. Headwater is located in northern slopes of the Caucasian ridge at the foot of the Tzmiakomkhoh mountain with a mark of 4117 m. The length of the Buddon River comes to 11 km, the catchment area to the mouth is 42 km^2 (Surface water resources of USSR,1964). The average height of the watershed area is 2540 m. The Shiroky Channel, located in the Mineralovodsky District, is the distributor of the Great Stavropol Channel (GSC). GSC is an irrigation channel using the water of the Kuban, Terek and Kuma rivers.

In the Buddon River basin there are several mudflow site in 3-4 km from headwater. Passing mudflows are disastrous for Mizur village, located in the estuary of the Buddon. The mechanism of mudflow formation is the following: debris flows were formed on the left sides of the Buddon River influenced by the transport-shear process. Then debris flow disintegrated in the course of Buddon. Furthermore, water-rock-flows involved this material that already fell into

the course of Ardon. As for the Shiroky Channel, under certain discharges, which can be caused by downpours, a busy route near Essentuki is flooded.

Methods

Research techniques of debris flows are subdivided on calculated and experimental, the choice is made on the basis of characteristics of the debris itself and also research opportunities. For calculation of a water-rock-flows and a flood on objects, the model of the unsteady water movement, developed by Tatyana Aleksandrovna Vinogradova and applied at present by leading companies, for example, LLC NPO Gidrotekhproyekt, was used. In the basis of the model, the solution of a one-dimensional set of equations of Saint-Venant is put. When calculating the unsteady water movement, we often resort to statement of a one-dimensional problem because of a type of problems which are bound to a task of initial information. Differential equations of the unsteady flow in open courses in the presence of side inflow in the model have the following appearance:

$$I = i_o - \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\alpha}{g} V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\beta}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V|V|}{C^2 R} + \frac{qV}{g\omega}$$ the equation of a dynamic equilibrium (1.1)

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$ the equation of continuity (1.2)

For the solution of the equation of Saint-Venant, the numerical scheme developed at Institute of Hydrodynamics from Academy of Sciences of the USSR (IH) was used. The equations of the unsteady flow undertake in the form of conservation laws (Vinogradova T.A., Nikiforovskaya V. S.,2015):

$$\frac{1}{g\omega}\left(\frac{\partial Q}{\partial t} + 2V\frac{\partial Q}{\partial x}\right) + \left[1 - \left(\frac{V}{C}\right)^2\right]\frac{\partial Z}{\partial x} = \left[i_o + \frac{1}{B}\left(\frac{\partial \omega}{\partial x}\right)_{h=const}\right]\left(\frac{V^2}{C}\right) - \frac{Q|Q|}{K^2} \quad (1.3)$$

$$B\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1.4)$$

The program, which was made on the basis of the numerical scheme that was mentioned above, gives the chance of calculation of one course without branching or the simplest schemes of courses, such as merge of two courses or bifurcation of one. Besides, in the program accounting of the concentrated and also evenly distributed side inflow or outflow is realized. The task of calculated parameters for model is made on the basis of natural data. As calculated parameters, the lengths of calculated sites, values of calculated time periods and steps longwise, the generalized morphometric characteristics of a course (heat-sink capacities, position of the line of the bottom, accepted in calculation), characteristics of hydraulic resistances, the schematized starting and boundary conditions and side inflow or outflow are accepted. It should be noted that the structure and accuracy of input data depend on specifics of an object, the nature of the unsteady flow, the accepted computational method and also on a task and necessary accuracy of its solution.

Results

Modeling was conducted to clarify the hydrological and morphometric characteristics of the flood in the Ardon River and its tributary the Buddon. Data on the flood in 2014 were used as initial information. During calculations 4 variants of flash floods and water-rock-flows of n per cent chance were considered. More detailed information is provided in the table below.

For all variants on every control gauge, flow hydrographs, water- level, average flow velocity, cross-sectional area, width, modification of flow, Reynolds number and Froude number were obtained. Moreover, we get dynamics of cross-sectional area on all control gauges, but the

most interesting is the 6-gauge, after the mouth of Buddon, and 8, directly nearby Mizur village. Maximum meaning was obtained in 4th variant and equaled approximately to 120 m^2 for the 8th gauge, and for gauge № 6 -116 m^2, while the flooding occurs even at a cross-sectional area of 110 m^2. Besides, 1 and 2 variant cross-sectional area exceeds flooding area only on 8 gauge. In addition, modeling was conducted with change in code of roughness as it is a functionally dependent parameter, which can only be computed in reverse. Code of roughness ranges from 0.06 to 0.095 for water-rock-flows. In our case, initially code of roughness was set equal to 0.08 for all variants. Further, during calculations for the 4th variant given coefficient was changed. Minimum value of code of roughness which was applied in the model was 0.075, and the maximum value -0.095. Changes in the cross-sectional area were also remarked, the maximum was 130 m^2 with code of roughness as 0.095, while the flooding of area approaches at 110 m^2. On the 8th gauge, the maximum cross-sectional area is 139 m^2 at given code of roughness as 0.095.

As for the Shiroky Channel the flooding of area begins already when the flow in the channel is equal to 20 m^3/s. We applied several variants, however even when initial discharge in channel is set to 5.6 m^3/s, the road to Essentuki will be flooded, as the calculated meaning is 32.89 m^3/s. In the picture below the largest discharges are illustrated for every control gauge.

Table 1. Variants aplied in the model

№ variant	r. Ardon	r. Baddon
1	0,5%	0,5% flash flood
2	1%	1% flash flood
3	0,5%	0,5% water-rock-flow
4	1%	1% water-rock-flow

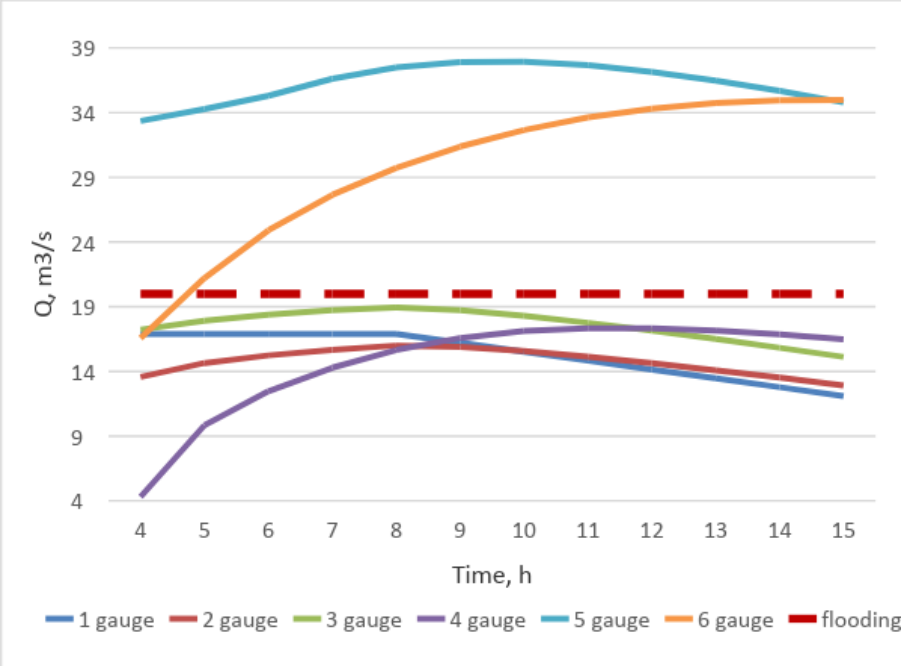


Figure. 1. Calculated discharges for 2 variant.

Conclusion

To sum up, during this research water-rock-flows were considered on the example of the Ardon river. Modeling was conducted according to data of 2014 by the initiative of JSC "Sevkavgiprovodkhoz" in order to protect territory in the valley of the Buddon river for

Zaramagskaya HPP-1 which is under construction. Calculation according to the hydrodynamic model relates the data of costs, water-levels and hydraulic characteristics throughout the course of the water-rock-flows, and in the given several scenarios, the original data were modified. As the Froude number, which reflects the kineticity measure, was exceeded. Simulation was carried out for 4 variants of calculation of flash floods and water-rock flows of various statistical probability with a change in the code of roughness (from 0.075 to 00.095). During the calculations, the values of water velocities and flows were obtained, under which the flooding of the territory begins. Flash floods were modelled on the Shiroky Channel to clarify discharges which lead to flooding the road to Essentuki. The maximum calculated meaning is 35.67 m^3/s, however nevertheless flooding takes place from 20 m^3/s.

References

Engineering and hydrological surveys on the river. Buddon and modeling of water-rock flows on the conjugation of the Buddon-Ardon rivers for the development of working documentation for the object: Protection of the territory in the valley of the river. Buddon (Zaramagskaya HPP-1), 2012, p.-88.

Vinogradova T. A., Vinogradov U. B. Modeling of dangerous hydrological phenomena.

Vinogradova T.A., Nikiforovskaya V. S. On mathematical modeling of the formation of heat and mass transfer processes in river and lake-river systems, Tr. The Fourth All-Union. sci. Conf. Fundamental problems of water and water resources. Moscow, September 15-18. 2015, p.102-106.

Surface water resources of USSR: Hydrologic coverage. V.8. The North Caucasus // Under the editorship of D. D. Mordukhai-Boltovskogo. —Gidrometeoizdat, 1964. —309 p.

Application of maximum entropy approach for urban flood inundation modeling

Omid Rahmati[1], Zahra Nasiri[2], Bahram Choubin[3], Fatemeh Falah[1]
[1] Department of Watershed Management, Lorestan University
[2] Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj
[3] Department of Watershed Management, Sari Agriculture Science and Natural Resources University
Iran
orahmati68@gmail.com

Abstract: Urban environments are vulnerable to flood inundation hazard; due to its severe damages to the economy, injury, and loss of life, and there is an increasing interest in spatial prediction of flood-prone areas. Present study aimed to investigate the capability and accuracy of maximum entropy model to flood inundation mapping at Emam-Ali town in Khorasan-Razavi province, Iran. To this end, an inundation inventory map and also the thematic layers of flood contributing factors (including elevation, slope angle, slope aspect, river distance, river density and land use) were prepared in a GIS environment. The inundation locations were then divided into two groups; calibration (70%) and validating (30%), respectively. In next phase, by overlaying mentioned influential factors with training points of flood inventory map, and application of Maximum Entropy model, flood inundation map of area was prepared. Finally, accuracy of generated map was detected using ROC curve approach. According to the results, produced map considered to be a good indicator of flood inundation areas by 92% and 90.5% accuracy values for calibration and validation phases, respectively. Therefore, results highlight that the maximum entropy can model and identify inundation-prone areas in urban environments.
Keywords: Flood inundation, Urban areas, GIS, Spatial modeling, Management

Introduction

Urban environments are vulnerable to flood inundation hazard, especially, in developing countries with poor drainage networks. Since urban floods have severe damages to the economy, injury, and loss of life, so there is an increasing interest in spatial prediction of flood-prone areas. In other hand, major characteristic of the climate system in arid and semi-arid regions, such as Iran, causes to convective storms typically occur very rapidly and often lead to local flash floods (Choubin et al., 2017a). So, study of urban flood inundation in arid and semi-arid regions, and developing countries is most important.

Nowadays, machine learning methods are efficient methods to study environmental and hydrological sciences (Choubin et al., 2017b; Choubin et al., 2018). According to the literature reviews machine learning methods not yet used to study urban flood inundation. But in other environmental fields of environment sciences they have successfully applied such as: the maximum entropy model for prediction of flood-susceptible areas, groundwater potential mapping, and prediction of soil erosion susceptibility (Rahmati et al., 2016; Siahkamari et al., 2017; Pournader et al., 2018), the adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of precipitation (Choubin et al., 2016a, 2016b), support vector machines for Prediction of the landslide susceptibility (Pourghasemi and Rahmati, 2018), and the artificial neural networks for prediction of groundwater level (Choubin and Malekian, 2017).

However to author's knowledge, previous studies has not been used maximum entropy model, a popular machine learning algorithm, for urban flood inundation modeling. Therefore, present study aimed to investigate the capability and accuracy of maximum entropy model to flood inundation mapping at Emam-Ali town in Khorasan-Razavi province, Iran.

Study area

The study area (Figure 1), Emam-Ali town, is located the in Khorasan-Razavi province, northeast of Iran. Study area covers approximately 150,000 hectare with a population about 10000 people. Average of precipitation data in area is less than 300 mm which mostly falls in the autumn and winter; with short-term rainfalls in spring and summer. Since Emam-Ali town no have engineering and non-engineering measurement such as proper drainage systems, and flood risk warning, so, it is always facing with flood inundation. Therefore, urban flood inundation modeling is necessary in this region to decreasing the flood effects, socio-economic problems, and flood mitigation.

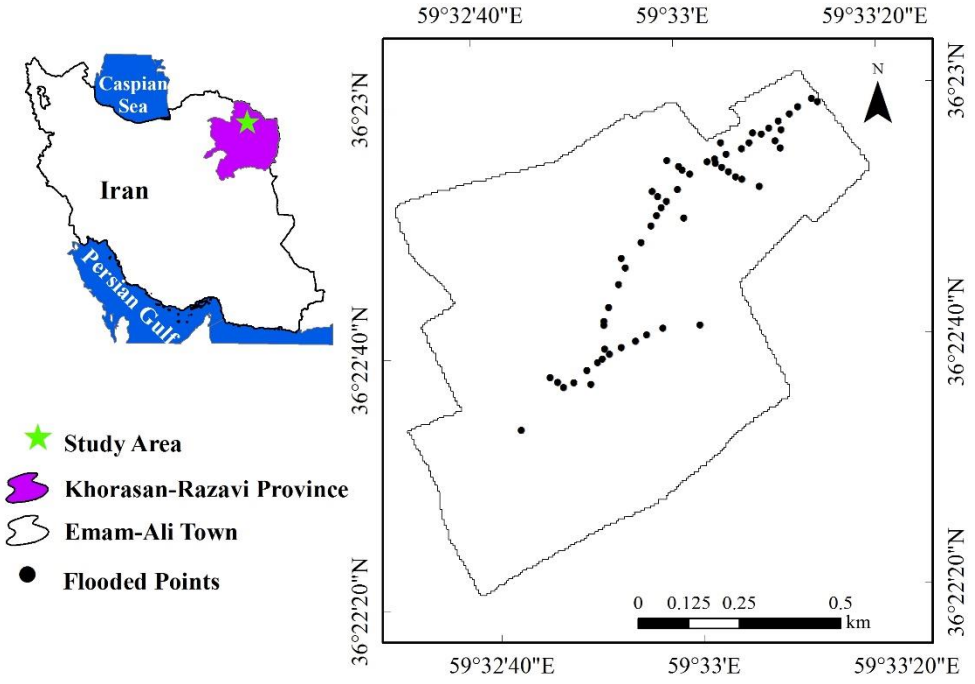


Figure 1: Location of study area.

Methodology

Data Used

Data used in this study are include flood inventory map and layers of flood inundation contributing factors. Flood inventory map was prepared based on information obtained from municipality and the field surveys in urban area. Location of flooded points are represented in Figure 1.

Flood inundation contributing factors considered in this study are including elevation, slope angle, slope aspect, river distance, river density and land use (Figure 2). These factors were applied through the knowledge attained from the literature and availability of the data in the study area.

Urban Flood Inundation Modeling

To modeling urban flood inundation, the Maximum Entropy model as a popular machine learning model was used. Phillips et al. (2006) for first time used Maximum Entropy for modelling of species geographic distributions. The purpose of Maximum Entropy model is to ascertain the probability distribution of occurrences during the set locations in the study area. Conditioning factors are applied to determine the moment constraints on the probability distribution (Phillips and Dudík, 2008). One of the most important advantages of this model is lack of need to non-occurrences points of phenomena in modeling. Also, this model is not

sensible to low number of data (Rahmati et al., 2016). In this study, Maximum Entropy model was calibrated by 70 % of data and then was validated by 30 % of data as randomly. SDM R-package was used to prediction of flood inundation by Maximum Entropy model.
One of the methods to assessing the model performance is the receiver–operator characteristic (ROC). In this method, the area under curve (AUC) of the ROC indicates model prediction accuracy (Maier and Dandy, 2000). Here, model performance for calibrating and validating datasets were conducted by AUC parameter.

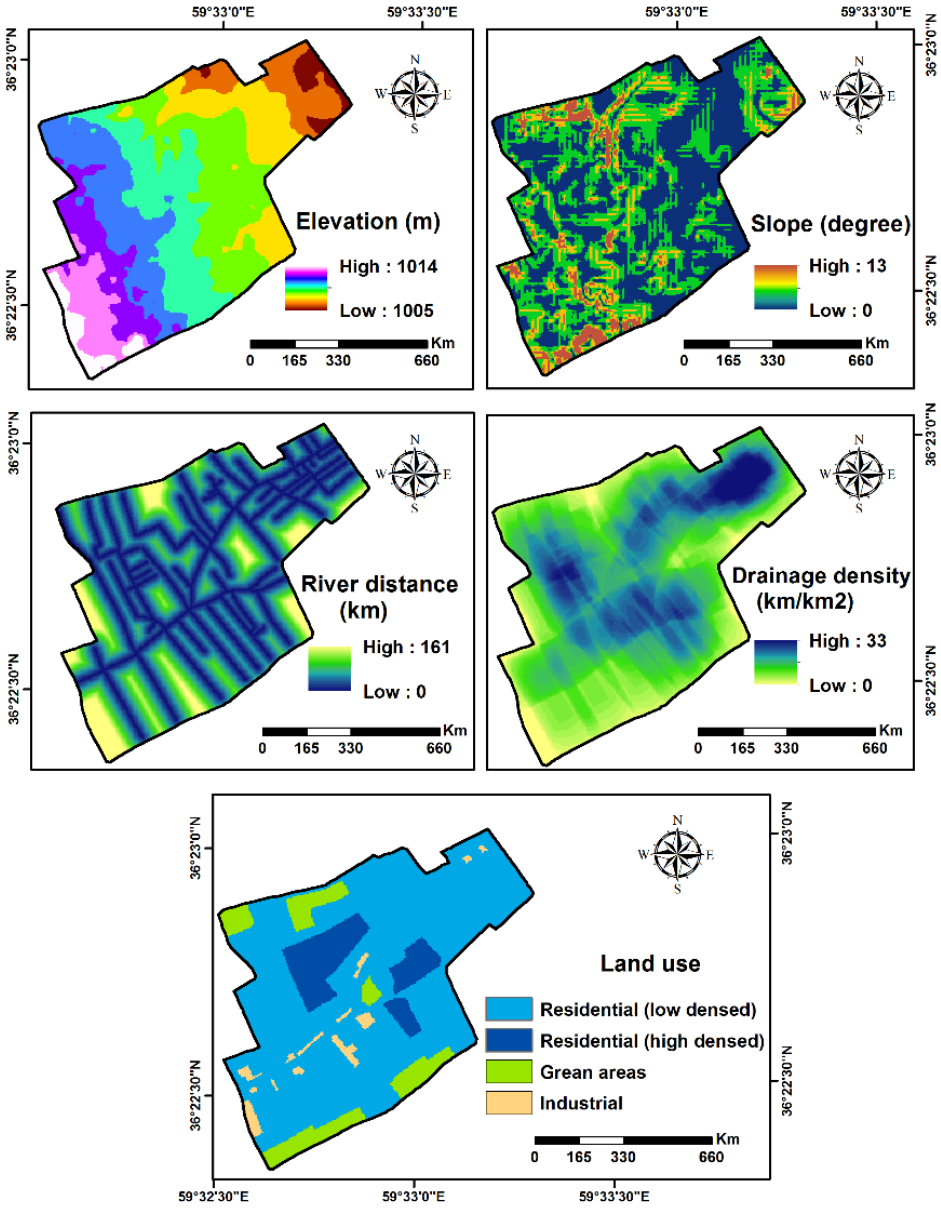


Figure 2: Flood conditioning factors considered in this study.

Results and Discussion

Flood inundation map produced by Maximum Entropy model is represented in Figure 3. Figure 3a indicates flood inundation index which change from 0 to 0.97. The flood inundation map was classified according to natural break classification scheme to four classes of low, medium, high and very high (Figure 3b). It can be seen that central areas have high and very high susceptible to flood inundation. Comparison of the flood conditioning factors considered in

this study (Figure 2) with flood inundation map (Figure 3) indicate that flood inundation map produced by Maximum Entropy model is coordinate with drainage density.

Evaluation of the model performance by AUC method indicated that Maximum Entropy model have 92 and 90.5 % accuracy for calibrating and validating datasets, respectively (Table 1). According to AUC classification in Yesilnacar (2005), accuracy of the model is 'excellent' and 'very good' for calibrating and validating datasets. Since, previous studies have not been used Maximum Entropy model to flood inundation modeling, hence, comparison between results of current study with previous study are not possible. According to some previous studies, Maximum Entropy model is a robust algorithm for prediction of flood-susceptible areas (Siahkamari et al., 2017), groundwater potential mapping (Rahmati et al., 2016), and prediction of soil erosion susceptibility (Pournader et al., 2018).

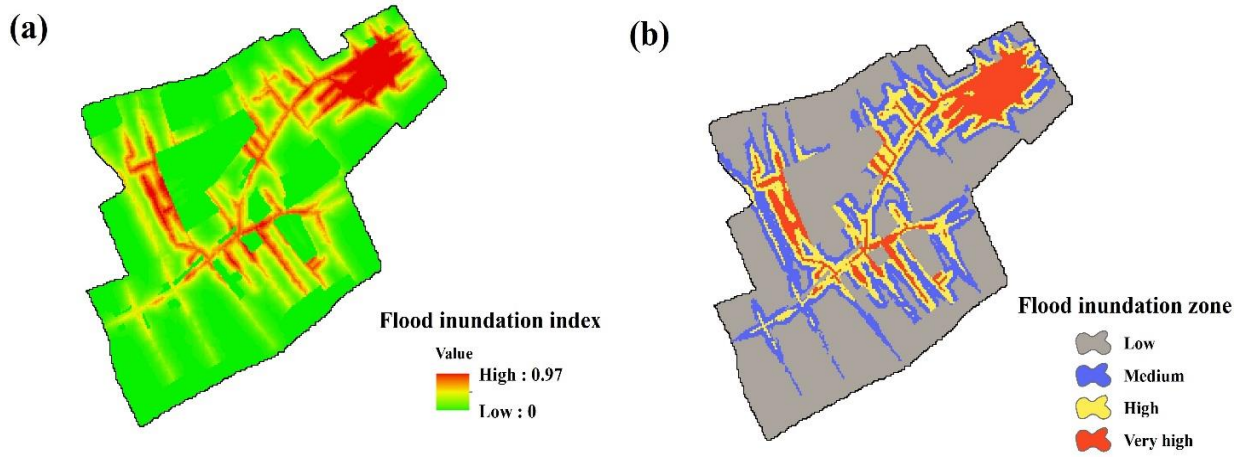


Figure 3: Flood inundation map produced by Maximum Entropy model.

Table 1: Accuracy of maximum entropy model using AUC method.

Modeling step	Accuracy (%)
Calibration	92
Validation	90.5

Conclusion

Floods are among widespread disasters all around the world and we are facing an increasing needs for mapping susceptible areas to this phenomenon in order to reduce flood consequences. Hence, current study seeks application of Maximum Entropy model in order to mapping prone areas too flood inundation at Emam-Ali region in Khorasan Razavi province, Iran, using flood inventory map and layers of flood inundation contributing factors (including elevation, slope angle, slope aspect, river distance, river density and land use). Validation result illustrates high capability of this method with AUC value of 90.5 percent. So, in areas with no exact information about inundation depth, flood velocity and duration, machinery learning models such as Maximum Entropy can be used instead of hydraulic models such as SWMM. Besides, since this approach utilizes real flood events, its uncertainty is very low, land managers and other users can trust the obtained results of such studies as was illustrated in this study. Moreover, in order to well management of this hydrological disaster, application of Maximum Entropy model for mapping susceptible areas to flood, in cities with inundation problem, is highly recommended.

References

Choubin, B., & Malekian, A. (2017). Combined gamma and M-test-based ANN and ARIMA models for groundwater fluctuation forecasting in semiarid regions. *Environmental Earth Sciences*, *76*(15), 538. DOI: 10.1007/s12665-017-6870-8.

Choubin, B., Darabi, H., Rahmati, O., Sajedi-Hosseini, F., & Kløve, B. (2018). River suspended sediment modelling using the CART model: A comparative study of machine learning techniques. *Science of the Total Environment*, *615*, 272-281. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.293.

Choubin, B., Khalighi-Sigaroodi, S., Malekian, A., & Kişi, Ö. (2016a). Multiple linear regression, multi-layer perceptron network and adaptive neuro-fuzzy inference system for forecasting precipitation based on large-scale climate signals. *Hydrological Sciences Journal*, *61*(6), 1001-1009. DOI: 10.1080/02626667.2014.966721.

Choubin, B., Malekian, A., & Golshan, M. (2016b). Application of several data-driven techniques to predict a standardized precipitation index. *Atmósfera*, *29*(2), 121-128. DOI: 10.20937/ATM.2016.29.02.02.

Choubin, B., Malekian, A., Samadi, S., Khalighi-Sigaroodi, S., & Sajedi-Hosseini, F. (2017a). An ensemble forecast of semi-arid rainfall using large-scale climate predictors. *Meteorological Applications*, *24*(3), 376-386. DOI: 10.1002/met.1635.

Choubin, B., Solaimani, K., Roshan, M. H., & Malekian, A. (2017b). Watershed classification by remote sensing indices: A fuzzy c-means clustering approach. *Journal of Mountain Science*, *14*(10), 2053-2063. DOI: 10.1007/s11629-017-4357-4.

Maier, H.R., Dandy, G.C., 2000. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications. *Environmental Modeling Software*, 15, 101–124.

Phillips, S., Anderson, R., Schapire, R., 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modeling,* 190, 231–259.

Phillips, S.J., Dudيk, M., 2008. Modeling of species distributions with maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography,* 31, 161–175.

Pourghasemi, H. R., & Rahmati, O. (2018). Prediction of the landslide susceptibility: Which algorithm, which precision?. *CATENA*, *162*, 177-192.

Pournader, M., Ahmadi, H., Feiznia, S., Karimi, H., & Peirovan, H. R. (2018). Spatial prediction of soil erosion susceptibility: an evaluation of the maximum entropy model. *Earth Science Informatics*, 1-13.

Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Melesse, A. M. (2016). Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*, *137*, 360-372.

Siahkamari, S., Haghizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N., & Rahmati, O. (2017). Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto International*, 1-15.

Yesilnacar, E.K., 2005. The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey (Ph.D Thesis) Department of Geomatics the University of Melbourne, p. 423.

Список авторов

А

Абдурашидов Д.Г. 520
Абрамов Д.В. 163, 632
Агафонова С.А. 48
Аджиенко Г.В. 310
Айбулатов Д.Н 10, 845
Алабян А.М. 944
Алексеев А.С 293
Алексеева А.А. 168
Алексеевский Н.И. 596
Алиев Ш.А. 520
Амаро Медина Д.Р. 347
Аминова Ю.Д. 681
Амосова И.Ю. 685
Антипова Е.А. 57
Аракельянц А.Д. 754
Арп К.Д. 132
Артамонов А.Ю. 401
Афанасьева М. И. 174

Б

Бадминов П.С. 532
Бажин К.И. 62
Базаров К.Ю. 421
Базилова В.О 16
Байкенова Г.Г. 297
Балдаков Н.А. 840
Барышников Н.Б. 695, 717
Барышников С.Г. 690, 922
Батуев В.И. 538
Бекасов М.А 845
Белозёров Е.В. 20
Бельдиман И.Н. 893
Беляев Б. М. 698
Беляев В.Р. 787
Белякова П.А. 849
Бенц Т.В. 297, 301
Бердников С.В. 801
Бобов Р.А. 887
Боброва Д.А. 864, 873
Богданова К.А. 728
Боронина А.С. 8
Болгов М.В. 854
Ботвенко Е.О. 690
Бугаец А.Н. 228
Бугаец Н.Д. 228
Буренина Т.А. 304
Быков А.В. 150

В

Варенцова Н. А. 698
Василенко А.Н. 25
Васильев М.П. 433
Веницианов Е.В. 310, 395
Верховов К.В. 860, 928
Верхотуров А.Г. 30
Вершинин Д.А. 606
Вилимович Е.А 315
Виноградов А.Ю. 1, 178, 864, 882
Виноградов И.А. 178
Виноградова Т.А. 1, 178, 627, 882
Висхаджиева К.С. 887
Возняк А.А. 395, 703
Волков А.В. 943, 949
Волкова Д.Д 320
Воронюк Г.Ю. 506
Вьюхина А.С. 325
Вюшкова Е.А. 328
Гаврилкина С.А. 627

Г

Гарцман Б.И. 228, 263, 903
Гасанова Н.И. 553
Гашкова Л.П. 656
Генсиоровский Ю.В. 864, 873, 882
Георгиевский М.В. 204
Головлев П.П. 898, 944
Голубев В.Н. 35
Голубцов В.А. 590
Гончаров А.В.. 333
Гончуков Л.В. 182, 233
Горбатенко А.А. 515
Горбунова Ю.В. 195
Гречушникова М.Г 333, 401
Григорьева И.Л 338
Григорьева С.Д. 797
Грицук И.И. 39, 98
Гуринов А.Л. 787
Гуруев М.А. 520

Д

Давыденко Е.В. 709
Давыдова Н.С 343
Данилов К.П. 252

Данилович И.С 749
Двуреченская С.Я. 781
Дмитриев В.В 347
Дмитриева В.А. 526
Дмитриев-Добровольский В.Е. 532
Докукин М.Д. 887
Докус А.А. 711
Долгов С.В. 739
Долгополова Е.Н. 39, 98, 558
Древило М.С. 873
Дрегваль М.С. 695
Дурманов И.Н. 869

Е

Евстигнеев В.П. 209
Егидарев Е.Г. 421
Езерова Н.Н. 580
Ерина О.Н. 223, 315, 355
Ескул Б. 301
Ефимов В.А. 360
Ефимова Л.Е. 355, 483
Ефремов В.С. 62, 32, 132
Ешмагамбетова А.Б. 325

Ж

Жируев С.П. 864, 873, 882
Журавлев С.А. 204, 749
Журавлева А.Д 538

З

Завьялова Е.В. 186
Задонская О.В. 366
Замятина Э.В. 39
Заславская М.Б. 355
Захарова Э.Д 543
Зелепукина Е.С. 627
Земцов В.А. 681
Зуева Н. В. 367

И

Иванин В.И. 377
Иванов М.М. 787
Илич В.П. 877
Ильичева Е.А. 547, 618, 685
Иманов Ф.А. 553
Инишев Н.Г. 681
Ионов Д.Н. 98
Исаев Д.И. 297, 717
Исупова М.В. 558

К

Казаков Н.А. 864, 882, 939
Казакова Е.Н. 864, 882
Казанцев В.С. 401
Казачук А.А. 386
Каймонов М. В. 43
Калинин В.Г. 369, 728
Калугин А.С. 733
Камышев А.А. 564
Канзепарова А.Н. 421
Карашова М.И. 568
Каштаненко В. И. 373
Квач Е.Г. 749
Кенжабаева А.Ж. 574
Кидяева В.М. 887
Кильдибеков Е.С. 377, 913
Киреева М.Б. 20, 580, 869, 877
Киселев В.В. 43
Китаев А.Б. 382
Клещенков А.В. 586
Клименко Д.Е. 610
Кобылкин Д.В. 590, 618
Ковязина И.А. 369
Козачек А.В. 258
Козачук М.Н. 722
Козлова М.А. 190
Колий В.М. 48, 315
Колупаева А.Д. 893
Комиссаров А.Б. 338
Кондакова О.В. 781
Копейкин В.В. 144
Корнилова Е.Д. 898
Коронкевич Н.И. 739
Корпушенков И. А. 745
Костерина Е.А. 195
Костко В.В. 199
Краснопеев С.М. 233
Крыленко И.В. 132
Крыленко И.Н. 186, 887, 898, 933, 944
Крылова А.И. 57
Ксенофонтова М.И. 80
Кудряшова В.В. 602
Кузовлев В.В. 338
Куксина Л.В. 596
Кулешов А.А. 234
Курбанов Ч.З. 553
Курбонмамадов Д.А. 887
Куровская В.А. 913
Курочкина Л.С. 749
Кучмин А. В. 864

Л

Лапина Е.Е. 602
Лаптев А.С. 204
Лаптева Н.А. 771
Лебедева С.В. 62, 67, 73, 80, 132
Лебедева Л.С. 754
Леготина П. А. 760
Лепихин А.А. 391, 766
Лепихин А.П. 310,395
Ловцкая О.В. 840
Ломов В.А. 401, 483
Лупаков С.Ю. 903
Луценко Т.Н. 80
Лычагин М.Ю. 386, 406
Льюмменс Л. 483

М

Магрицкий Д.В. 574
Магур М.Г. 656
Макаров В.Н. 86
Макарьева О.М. 67, 73, 107, 156, 182, 893, 921
Максаков Н.А. 10
Макушин М.А. 913
Малолетко А.А. 656
Малыгин Е.В. 406
Малыгин И.В. 406
Марков М.Л. 92, 127, 199, 506
Мародасейнов Ф.О. 887
Масликова О.Я. 39, 98
Мельник К.С. 739
Мельникова Я.А. 606
Механошина Е.В. 728
Мироненко А.А. 103
Михайлик Т.А. 258
Михайлов В.А. 512
Михайлюкова П.Г. 877
Мишин Д.В. 209
Морейдо В.М. 849
Мосейкова А.М. 412
Музыченко А.А. 864, 882
Музыченко Л.Е. 864
Мысленков С.А. 512
Мякишева Н.В. 515

Н

Немчинов Е.О. 908
Нестерова Н.В. 73, 107, 156, 893
Неудачин А.П. 174
Нефедова Е.Г. 416
Никитина О.И. 421
Никифоровский А.А. 771
Никифоровская В.С. 163
Нутевекет М.А. 112

О

Огонеров В.В. 62
Огурцов А.Н. 347
Озерский А. Ю. 427
Омельяненко П.А. 252
Онучин А.А. 304
Опекунова М.Ю. 590
Оргильянов А.И. 532
Осипова Т.Н. 627
Остахова А.Л. 610
Осташов А.А. 107, 156, 614, 913
Остроумова Л.П. 209

П

Павлов В. С. 864
Павлов М.В. 618
Павлова Н.А. 62
Палконен А.А. 215
Панченко Е.Д. 218, 754
Панышева К. М. 246, 776
Пашовкина А.А. 921
Петерс А.А. 433
Петраков Д.А. 20, 122
Петрова Н. Н. 440
Пирмамадов У.Р. 887
Пискарева К.И. 728
Повалишникова Е.С. 246
Попов В.И 118
Попов С.В. 797, 854
Потапова Т.М. 127, 320, 373
Потемкина Т.Г. 624
Потурай В.А. 443
Примак Е.А. 347, 467
Пряхина Г.В. 347, 377, 614, 627, 642, 854
Пшеничникова Н.Ф. 228
Пьянкова А.И. 849

Р

Раимбеков Ю.Х. 887
Распутина В.А. 908
Репина И.А. 401
Рец Е.П. 20, 122, 580, 869
Решин Н.А. 632

Розинкина И.А. 144
Романов С.Г. 127
Романова Е.А. 449
Романчук А.И. 455
Ротанова И.Н. 690, 922
Рыбальченко С.В. 860, 864, 882, 928

С

Савернюк Е.А. 887
Савкин В.М. 781
Сазонов А.А. 186, 869, 877, 898, 933
Сакович В. М. 760
Саноцкая Н.А. 215, 637
Сёмочкина А.Е. 787
Серикова В.И. 343
Серова О.А. 632
Сидоренко Н.Ю. 228
Сикан А.В. 791
Синюткина А.А. 656
Соколов Д.И. 315, 461, 493
Соколова Д.П. 913, 939, 949
Соловьев В.А. 614, 642
Соломонова И.В. 646
Степаненко В.М. 401, 745
Суханова А.А. 797
Суховило Н.Ю. 651

Т

Тананаев Н.И. 252
Тарасов А.В. 150
Тарбеева А.М. 132
Терешина М.А. 223, 315
Терешкина А.А. 233
Терский П.Н. 234, 722
Тимофеева Л.А. 632
Титова Ю. М. 467
Токарев И.В. 258, 506
Толочко Ю. А. 472
Трегубов О.Д. 112
Третьякова И.А. 801
Тутынина Т.И. 240
Тюсов Г.А. 433

У

Урусова Е.С. 806
Уяганский К.К. 112

Ф

Фингерт Е.А. 898, 944
Фролов Д.М. 35, 656
Фролова Н.Л. 103, 144, 246, 580

Х

Харанжевская Ю.А. 656
Харламова Н.Ф. 877, 921
Хохолов Ю. А. 43
Христофоров И.И. 62, 252

Ц

Цыпленков А.С. 16

Ч

Чалов С.Р. 16
Чан Х. Т. 668
Чекмарёва Е.А. 338, 477
Черноморец С.С. 887
Черноус П.А. 949
Чурюлин Е.В. 144

Ш

Шайдулина А.А. 293, 382
Шакирзанова Ж.Р. 449, 711
Шамов В.В. 80, 258
Шарапова Е.О. 483
Шашерина Л. В 663
Шевердяев И.В. 954
Шекман Е.А. 263
Шелутко В.А. 412, 440, 806
Шестакова Е.Н. 488
Шестеркин В.П. 174
Шихов А.Н. 107, 150, 156
Школьный Д.И. 10, 574
Шпунтова А.М. 122

Ю

Юмина Н.М. 574

Я

Яицкая Н.А. 801
Якимова А.И. 493

Author index

A

Abdurashidov D. G. 525
Abramov D.V. 167, 631
Afanaseva M.I. 177
Agafonova S.A. 52
Ageenko G. V. 314
Aibulatov D.N. 15, 848
Alabyan A.M. 948
Alekseev A.S. 296
Alekseeva A.A. 173
Alexeevsky N.I. 601
Aliev Sh.A. 525
Alinejad Mohammad 812
Amaro Medina D.R. 354
Aminova J.D. 684
Amosova I.Y. 689
Antipova E.A.
Arakelyants A.D. 759
Arp C.D. 137
Artamonov A.U. 405
Azimi Mojgan Sadat 673
Ayzel G.V. 275

B

Badminov P.S. 537
Bahremand A. 277
Baikenova G.G. 300
Baldakov N.A. 844
Baryshnikov N.B. 697, 717
Baryshnikov S.G. 694, 927
Batyev V.I. 542
Bazarov K.Yu. 426
Bazhin K.I. 66
Bazilova V.O. 19
Bekasov M.A. 848
Beldiman I.N. 897
Belikov V.V. 53
Belozerov E.V. 24
Belyaev B.M. 702
Belyaev V.R. 790
Belyakova P.A. 853
Benz T.V. 300, 303
Berdnikov S.V. 805
Bobov R.A. 892
Bobrova D.A. 867, 872
Bogdanova K.A. 732
Bolgov M.V. 8
Boronina A.S. 859
Botvenko E.O. 694
Bugaets A.N. 233
Bugaets N.D. 233
Burenina T.A. 309
Bykov A.V. 155

C

Chalov S.R. 19
Chekmariova E.A. 342, 482
Chernomorets S.S. 892
Chernous P.A. 953
Chiew Frances H.S. 291
Choubin Bahram 969
Churiulin E.V. 149

D

Danilov K.P. 257
Danilovich I.S. 753
Davydenko E.V. 710
Davydova N.S. 346
Dmitriev V.V. 354
Dmitrieva V.A. 531
Dmitriev-Dobrovolsky V.E. 537
Dokukin M.D.
Dokus A.O. 716
Dolgopolova E.N. 42, 102, 563
Dolgov S.V. 744
Dregval M.S. 697
Drevilo M.S. 867
Dvurechenskaya S.Ya. 786
Durmanov I.N. 872

E

Efimov V.A. 365
Efimova L.E. 359, 487
Efremov V.S. 66, 137
Egidarev E.G. 426
Erina O.N 227, 319, 359
Eshmagambetova A.B. 327
Eskul B. 303
Evstigneev V.P. 214
Ezerova N.N. 585

F

Falah Fatemen 969
Fingert E.A. 902, 948
Frolov A.V. 650
Frolov D.M. 38
Frolova N.L. 106,149,251,585

G

Gartsman B.I. 233, 267, 907
Gashkova L.P. 662
Gavrilkina S.A. 631
Gensiorovskiy Yu.V. 867,872,886
Georgievsky M.V. 208
Ghonchepour D. 277, 283
Golovlev P.P. 53, 902, 948
Golubev V.N. 38
Golubtsov V.A. 595
Goncharov A.V. 337
Gonchukov L.V. 185, 233
Gorbatenko A.A. 519
Gorbunova Yu.V. 198
Grechushnikova M.G. 337, 40
Grigoreva S.D. 800
Grigorieva I.L. 342
Gritsuk I.I. 42, 102
Gurinov A.L. 790
Guruev M.A. 525

H

Haghdadi Mehrnaz 673
Hasanova N.I. 557
Heshmati Gholamali 673
Hosseinalizadeh Mohsen 818

I

Ilicheva E.A. 552, 623, 689
Ilich V.P. 881
Imanov F.A. 557
Inishev N.G. 684
Ionov D.N. 102
Isaev D.I. 300, 717
Isupova M.V. 563
Ivanin V.I. 381
Ivanov M.M. 790

K

Kaimonov M.V. 47
Kalinin V.G. 372, 732
Kalugin A.S. 738
Kamyshev A.A. 567
Kanzeparova A.N. 426
Karami Gholam Hoseein 499
Karashova M.I. 573
Karimi Zeinab 830
Kariminejad Narges
Kashtanenko V.I. 376
Kayhanpanah M. 283
Kazachuk A.A. 727
Kazakov N.A. 872, 886, 943
Kazakova E.N. 872, 886
Kazantsev V.S. 405
Kenzhebaeva A.Zh. 579
Kharanzhevskaya Yu.A. 662
Kharlamov M.A. 881
Kharlamova N.F. 927
Khokholov Y. A. 47
Khristoforov I.I. 66, 257
Kidyaeva V.M. 892
Kildibekov E.S. 381, 916
Kireeva M.B. 24, 251, 585, 872, 881
Kiselev V.V. 47
Kitaev A.B. 385
Kleshchenkov A.V. 589
Klimenko D.E. 613
Kobylkin D.V. 595, 623
Koliy V.M. 52, 319
Kolupaeva A.D. 897
Komissarov A.B. 342
Kondakova O.V. 786
Kopeykin V.V. 49
Kornejady Aiding 812, 960
Kornilova E.D. 53, 902
Koronkevich N.I. 744
Korpushenkov I.A. 748
Kosterina E.A. 198
Kostko V.V. 203
Koviazina I.A. 372
Kozachek A.V. 262
Kozachuk M.N. 390
Kozlova M.A. 194
Krasnopeev S.M. 233
Krylenko I.N. 53,189,892,902,938,948
Krylenko I.V. 137
Krylova A.I. 61
Ksenofontova M.I. 85
Kuchmin A.V. 872
Kudryashova V.V. 605
Kuksina L.V. 601
Kuleshov A.A. 239
Kurbanov Ch.Z. 557
Kurbonmamadov D.A. 892
Kurochkina L.S. 753
Kurovskaia V.A. 916, 965
Kuzovlev V.V. 342
Kvach E.G. 753

L

Lapina E.E. 605
Laptev A.S. 208

Lapteva N.A. 775
Lebedeva L.S. 66, 72, 79, 85, 137
Lebedeva S.V. 759
Legotina P.A. 765
Lepikhin A.P. 314, 394, 400, 770
Leummens L. 487
Lomov V.A. 405, 487
Lovtskaya O.V. 844
Li M. 291
Lupakov S.Yu. 907
Lutsenko T.N. 85
Lychagin M.Yu. 390, 411

M

Magur M.G. 662
Makarieva O.M. 72, 79, 111, 161, 185, 268, 897, 921
Makarov V.N. 91
Maksakov N.A. 15
Makushin M.A. 916
Maloletko A.A. 662
Malygin E.V. 411
Malygin I.V. 411
Markov M.L. 9, 131, 203, 511
Marodaseinov F.O. 892
Maslikova O.Ya. 42, 102
Magritsky D.V. 579
Mekhanoshina E.V. 732
Melnik K.S. 744
Melnikova J.A. 609
Mihailov V.A. 514
Mikhailik T.A. 262
Mikhailukova P.G. 881
Mironenko A.A. 106
Mishin D.V. 214
Moreido V.M. 853
Moseykova A.M. 415
Muzychenko A.A. 872, 886
Muzychenko L.E. 872
Myakisheva N.V. 519
Myslenkov S.A. 514

N

Naghettini M. 824
Nalivan Omid Asadi 499, 812
Nasiri Zahra 969
Nefedova Ye.G. 420
Nemchinov E.O. 912
Nesterova N.V. 79, 111, 161, 268, 897
Neudachin A.P. 177
Nikiforovskay V.S. 775
Nikiforovsky A.A. 167
Nikitina O.I. 426
Nuteveket M.A. 117

O

Ogonerov V.V. 66
Ogurtsov A.N. 354
Omelyanenko P.A. 257
Onuchin A.A. 309
Opekunova M.Yu. 595
OrgilyanovA.I. 537
Osipova T.N. 631
Ostakhova A.L. 613
Ostashov A.A. 111, 161, 268, 617, 916
Ostroumova L.P. 214
Ownegh Majid 960
Ozerskiy A.Yu. 432

P

Pádua L. 824
Palkonen A.A. 217
Panchenko E.D. 222, 759
Panysheva K.M. 251, 780
Pashovkina A.A. 921
Pavlov M.V. 623
Pavlov V.S. 872
Pavlova N.A. 66
Peters A.A. 439
Petrakov D.A. 24, 126
Petrova N.N. 442
Pirmamadov U.R. 892
Piskareva K.I. 732
Popov S.V. 800, 854
Popov V.I. 121
Potapova T.M 131, 324, 376
Potemkina T.G. 626
Poturay V.A. 448
Post D.A. 834
Povalishnikova E.S. 261
Pourghasemi Hamid Reza 812, 960
Primak E.A. 354, 467
Pryakhina G.V. 354, 381, 617, 631, 854
Pshenichnikova N.F. 233
Pyankova A.I. 853

R

Rahmati Omid 969
Raimbekov Y.H. 892
Rasputina V.A. 912
Repina I.A. 405

Reshin N.A. 636
Rets E.P. 24, 126, 585, 872
Romanchuk A.I. 460
Romanov S.G. 131
Romanova E.A. 454
Rotanova I.N. 694, 927
Rozinkina I.A. 149
Rybalchenko S.V. 863, 872, 886, 932

S

Sadeghi Seyed Hamidreza 830
Sadoddin Amir 499
Sakovich V.M. 765
Sanotskaya N.A. 217, 641
Savernyuk E.A. 892
Savkin V.M. 786
Sazonov A.A. 189, 872, 881, 902, 938
Semochkina A.E. 790
Serikova V.I. 346
Serova O.A. 632
Shaidulina A.A. 296, 385
Shakirzanova Zh.R. 454, 716
Shamov V.V 85, 262
Sharapova E.O. 487
Shasherina L.V. 667
Shekman E.A. 267
Shelutko V.A. 415, 442, 811
Shestakova E.N. 492
Shesterkin V.P. 177
Sheverdyaev I.V. 959
Shikhov A.N. 111, 155, 161, 268
Shkolniy D.I. 15, 579
Shpuntova A.M. 126
Sidorenko N.Yu. 233
Sikan A.V. 791
Silva F. 824
Sinyutkina A.A. 662
Siroosi Hamid 673
Sokolov D.I. 319, 466, 498
Sokolova D.P. 916, 943, 953
Solomonova I.V. 650
Solovev V.A. 617, 645
Stepanenko V.M. 405,748
Sukhanova A.A. 800
Sukhovilo N.Y. 655
Sviyazov E. 268

T

Tananaev N. 257
Tarasov A.V. 155
Tarbeeva A.M. 137
Telegina A.A. 139
Tereshina M.A 227, 319
Tereshkina A.A. 233
Terskii P.N. 239, 727
Timchenko D. 288
Timofeeva L.A. 632
Titova I.M. 471
Tokarev I.V. 262, 511
Tolochko Y.A. 476
Tran H.T. 672
Tregubov O.D. 117
Tretyakova I.A. 805
Tsyplenkov A.S. 19
Tutynina T.I. 245
Tyusov G.A. 439

U

Urusova E.S. 811
Uyganskiy K.K. 117

V

Vahedberdi Sheikh 499
Varentsova N.A. 702
Vasilenko A.N. 29
Vasilev M.P. 439
Venitsianov E.V. 314, 400
Verkhoturov A.G. 34
Verkhovov K.V. 932
Vershinin D.A. 609
Vilimovich E.A. 319
Vinogradov A.Yu 7, 181, 872, 886
Vinogradov I.A. 181
Vinogradova T.A. 7, 181, 631, 886, 965
Viskhadzhieva K.S. 892
Volkov A.V. 943, 953
Volkova D.D. 324
Voronyuk G.Y. 511
Vuglinsky V.S. 288
Vyukhina A.S. 327
Vyuschkova E.A. 332

W

Wozniak A.A. 400, 708

Y

Yaitskaya N.A. 705
Yakimova A.I. 498
Yumina N.M. 579

Z

Zadonskaya O.V. 368
Zakharova E.D. 546
Zamyatina E.V. 42
Zaslavskaya M.B. 359

Zavyalova E.V.	189	Zhiruev S.P.	867, 872, 886
Zelepukina E.S.	631	Zhuravlev S.A.	208, 753
Zemtsov V.A.	684	Zhuravleva A.D.	542
Zhang Y.	291	Zueva N.V.	471