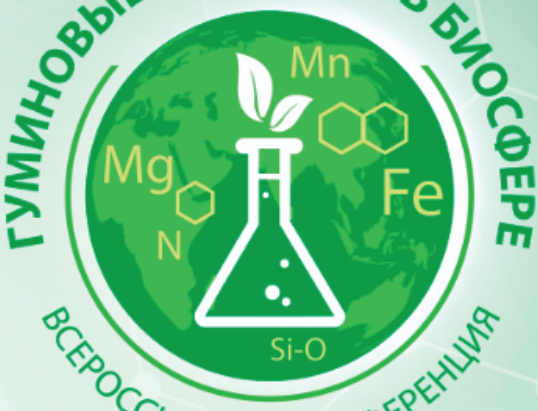
Санкт-Петербургский государственный университет

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Общество почвоведов имени В.В. Докучаева

HUMUS SAPIENS



VIII Всероссийская научная конференция

«Гуминовые вещества в биосфере»

XI международная конференция СНГ МГО
по гуминовым инновационным технологиям HIT-2026

«Природные и искусственные гуминовые вещества: перспективы для природоподобных технологий и биоэкономики»

IV международная молодежная научная школа

«Проблемы измерения биологической активности гуминовых продуктов»

21-23 октября 2026

Санкт-Петербургский государственный университет

ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА В БИОСФЕРЕ

Сборник докладов
VIII Всероссийской научной конференции
«Гуминовые вещества в биосфере»,
XI международной конференции СНГ МГО
по гуминовым инновационным технологиям «НІТ-2026»
«Природные и искусственные гуминовые вещества:
перспективы для природоподобных технологий и биоэкономики»,
IV международной молодежной научной школы
«Проблемы измерения биологической активности
гуминовых продуктов»

г. Санкт-Петербург, 21–23 октября 2026

Санкт-Петербург
Наукоемкие технологии
2026

УДК 631.417(207)(063)
ББК 40.3
Г94

Ответственные за выпуск:
С. Н. Чуков – д.б.н., профессор кафедры Почвоведения и экологии почв СПбГУ;
И. В. Перминова – д.х.н., профессор, заведующая Лабораторией природных гуминовых систем на кафедре медицинской химии и тонкого органического синтеза химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, вице-президент Международного гуминового общества (IHSS);
Е. В. Абакумов – д.б.н., профессор РАН, заведующий кафедрой Прикладной экологии СПбГУ;
В. И. Поляков – к.б.н., м.н.с. кафедры Прикладной экологии СПбГУ;
Т. И. Низамутдинов – м.н.с. кафедры Прикладной экологии СПбГУ

Рецензент:
Антон Викторович Лаврищев – д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой Почвоведения и агрохимии имени Л.Н. Александровой Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Г94 **Гуминовые вещества в биосфере**: сборник докладов VIII Всероссийской научной конференции «Гуминовые вещества в биосфере», XI международной конференции СНГ МГО по гуминовым инновационным технологиям «НІТ-2026» «Природные и искусственные гуминовые вещества: перспективы для природоподобных технологий и биоэкономики», IV международной молодежной научной школы «Проблемы измерения биологической активности гуминовых продуктов»; г. Санкт-Петербург, 21–23 октября 2026. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2026. – 212 с.

ISBN 978-5-00271-208-3

Сборник содержит доклады Восьмой Всероссийской научной конференции «Гуминовые вещества в биосфере», Одиннадцатой Международной конференции СНГ МГО по гуминовым инновационным технологиям «НІТ-2026» «Природные и искусственные гуминовые вещества: перспективы для природоподобных технологий и биоэкономики», Четвертой Международной молодежной научной школы «Проблемы измерения биологической активности гуминовых продуктов». В них освящается широкий круг вопросов, касающихся изучения, определения, выделения, а также применения гуминовых веществ.

© Чуков С. Н., Перминова И. В., Абакумов Е. В., Поляков В. И., Низамутдинов Т. И., 2026

ISBN 978-5-00271-208-3

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель:
Чуков Серафим Николаевич, д.б.н., профессор кафедры почвоведения и экологии почв ИНоЗ СПбГУ, председатель подкомиссии «Органическое вещество почв» Общества почвоведов им. В. В. Докучаева.
Сопредседатели:
Перминова Ирина Васильевна, д.х.н. профессор, заведующая Лабораторией природных гуминовых систем на кафедре медицинской химии и тонкого органического синтеза химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, вице-президент Международного гуминового общества (IHSS).
Абакумов Евгений Васильевич, д.б.н., профессор, заведующий кафедрой Прикладной экологии биологического факультета СПбГУ.
Ответственный секретарь конференции:
Орлова Елена Евгеньевна, доцент каф. Агрохимии Биологического факультета СПбГУ.

1. Безуглова Ольга Степановна, д.б.н., профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета.
2. Брюханов Александр Юрьевич, д-р техн. наук, академик РАН, директор Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (ИАЭП – ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).
3. Дворникова Ирина Генеральный директор ООО "ЛИГНОГУМАТ".
4. Жеребцов Сергей Игоревич – д.х.н., г.н.с. зав. лаб. химии бурых углей Института углехимии и химического материаловедения СО РАН.
5. Заварзина Анна Георгиевна, к.б.н., в.н.с. лаборатории химии гумусовых веществ и минеральных соединений почв кафедры химии почв факультета почвоведения МГУ им. Ломоносова.
6. Зыкова Мария Владимировна, д. фарм. н., профессор, заведующий кафедрой химии СибГМУ, координатор отделения СНГ Международного Гуминового Общества.
7. Ковалева Наталья Олеговна – д.б.н., заведующий лабораторией экологического почвоведения факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова.
8. Красильников Павел Владимирович, д.б.н., член-корреспондент РАН, и.о. декан факультета почвоведения МГУ им. Ломоносова, Президент общества почвоведов имени В.В.Докучаева.
9. Кудряшева Надежда Степановна, д. ф-м. н., профессор каф. биофизики Сибирского федерального университета (СФУ).
10. Курганова Ирина Николаевна – д.б.н., г.н.с. Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХ и БПП РАН).
11. Лодыгин Евгений Дмитриевич, д.б.н., в.н.с. Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

12. Лукина Наталья Васильевна д.б.н., член-корреспондент РАН, профессор, директор Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А. С. Исаева Российской академии наук.

13. Минкина Татьяна Михайловна – профессор, доктор биологических наук, зав. каф. почвоведения и оценки земельных ресурсов, Южного федерального университета.

14. Орлова Наталья Евгеньевна к.б.н., доцент кафедры Агрохимии биологического факультета СПбГУ.

15. Першина Анна Владимировна ООО «НовоЛэнд».

16. Попов Александр Иванович д.с.-х.н., профессор кафедры Почвоведения и экологии почв ИНоЗ СПбГУ.

17. Поцелуев Олег Михайлович к.с.-х.н., зам. ген. директора по науке ген. директор ООО НПП «Генезис».

18. Русаков Алексей Валентинович, д.г.н., профессор, заведующий кафедрой Почвоведения и экологии почв ИНоЗ СПбГУ.

19. Скрипкина Татьяна Сергеевна, к. х. н., ст. н. с. Института химии твёрдого тела и механохимии СО РАН.

20. Соболев Алексей Юрьевич, ООО "АгротехГумат".

21. Сухачёва Елена Юрьевна, д.г.н., профессор, директор Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева.

22. Тарбаева Вероника Михайловна д.б.н., профессор, член-кор. РАЕН, председатель Центрального совета МОО «Природоохранный союз».

23. Терехова Вера Александровна д.б.н., профессор кафедры земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ им. Ломоносова.

24. Холодов Владимир Алексеевич д.с-х.н. Профессор РАН, Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАН.

25. Шамрикова Елена Вячеславовна, д.б.н., в.н.с. Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (ИБ Коми НЦ УрО РАН).

26. Ширшин Евгений Александрович, д.ф-м.н., доцент кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

27. Якименко Ольга Сергеевна – к.б.н., вед. н. с., кафедры химии почв факультета почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова.

28. Liu Wei, ведущий исследователь, Nanchang University, Китай.

29. Xie Xianchuan, профессор, Nanchang University Китай.

РЕЗОЛЮЦИЯ
VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА В БИОСФЕРЕ»

Форум ученых, аспирантов, студентов и представителей бизнеса прошел в Санкт-Петербургском государственном университете 21-23 октября 2026 г. На форуме были участники из более 40 научных, учебных и производственных организаций и бизнес структур из 25 городов России, Белоруссии, Китая, Узбекистана, Казахстана. Всего приняло участие 137 человек, было сделано 82 гласных докладов, 17 докладов онлайн и 12 постерных докладов.

Участники конференции подтвердили важнейшую роль гуминовых веществ (ГВ) в биосфере как тысячелетнего резервуара стока углерода, которая обеспечивается биохимической устойчивостью их молекулярной структуры и прочной связью с минеральной матрицей почвы. Этот особый класс природных соединений крайне важен для стабильного функционирования экосистем и биосферы в целом благодаря аккумуляции органических соединений углерода и энергии в ГВ, которые играют приоритетную роль в цикле углерода наземных и водных экосистем.

На конференции отметили успешное междисциплинарное взаимодействие специалистов в области почвоведения, химии, экологии, токсикологии, медицины и фармакологии в разработке и внедрении гуминовых препаратов их модификаций в аграрных, природоохранных и биомедицинских технологиях. Совместное проведение конференции с XI международной конференцией СНГ МГО по гуминовым инновационным технологиям «HIT-2026» дало новый импульс и новые идеи для разработки гуминовых препаратов в рамках природоподобных технологий и биоэкономики.

Необходима государственная поддержка разработки экоадаптивных технологий искусственной и природоподобной гумификации побочных продуктов животноводства, лигнина и других органических отходов. Учитывая большую востребованность гуминовых препаратов и их эффективность в разных отраслях народного хозяйства, необходимо рекомендовать Минсельхозу оказывать поддержку государственным и частным компаниям в разработке, производстве и применении гуминовых препаратов как важного компонента биоэкономики.

Необходимо сформировать основу для межлабораторных сравнительных исследований, создать открытую базу методов инструментальной аналитики и результатов их валидации, а также подготовку методических рекомендаций по выбору оптимальных аналитических подходов для различных типов природных и искусственных гуминовых систем. Дальнейшее развитие этих исследований требует перехода от применения отдельных аналитических методов к комплексному изучению состава, структуры, свойств и процессов трансформации в природных и искусственных гумусовых системах. Для установления качества гуминовых продуктов как почвоулучшителей следует разработать стандарт на основе междисциплинарной методологии триад, включающей характеристики химической структуры, токсикологической безопасности, а также их биоиндикацию.

Участники с сожалением отметили, что редакционная политика некоторых западных научных журналов направлена на административное вытеснение исследований гуминовых веществ и самих терминов «гумус» и «гуминовый» из научной практики, опираясь на весьма спорные мнения отдельных ученых. Несмотря на это давление количество публикаций на тему гуминовых кислот по данным портала ScienceDirect.com ежегодно растет, превысив в 2025 году 12 тысяч статей. Неслучайно IUPAC в 2021 г. объявил именно гумификацию «перспективной технологией №1 в решении важнейших проблем человечества». В настоящее время гумификацию рассматривают как важный компонент циркуляционной биоэкономики замкнутого цикла и как перспективную технологию декарбонизации.

Конференция рекомендует Обществу почвоведов им. В.В.Докучаева, учитывая важность затронутых в ходе своей работы проблем, рассмотреть возможность перевода подкомиссии «Органическое вещество почв» в ранг полноценной самостоятельной комиссии в рамках Общества, как это сделано в почвоведческих обществах многих стран мира.

Участники конференции с интересом приняли участие в IV международной молодежной научной школе «Проблемы измерения биологической активности гуминовых продуктов» и рекомендуют продолжить ее работу в следующей IX конференции «Гуминовые вещества в биосфере».

Участники конференции благодарят ООО Лигногумат, ООО АгроТех Гумат, ООО НовоЛэнд и ООО НПП Генезис, оказавших финансовую поддержку в ходе подготовки и проведения VIII Международной научной конференции

Участники конференции считают необходимым продолжить сотрудничество с СНГ МГО и провести IX Международную научную конференцию «Гуминовые вещества в биосфере» не позже 2030 г.

Дорогие коллеги!

Восемь лет прошло с момента проведения на базе МГУ им. М.В. Ломоносова VII Международной конференции «Гуминовые вещества в биосфере» и почти 33 года со дня проведения первой конференции, организованной в МГУ в 1993 г. по инициативе Д.С. Орлова. С той поры прошло 7 конференций:

2003 г. 3-6 февраля Вторая конференция в МГУ им. М.В. Ломоносова;

2005 г. 1-3 марта Третья конференция в СПбГУ;

2007 г. 19-21 декабря Четвертая конференция, посвященная памяти Д.С. Орлова в МГУ им. М.В. Ломоносова;

2010 г. 1-3 марта Пятая конференция в СПбГУ;

2014 г. 6-9 октября Шестая конференция в Сыктывкаре на базе ИБ УрО РАН;

2018 г. 4-8 декабря Седьмая конференция в МГУ им. М.В. Ломоносова, посвященная 90-летию со дня рождения Д.С. Орлова. Прошла вместе с III международной молодежной научной школой «Проблемы измерения биологической активности гуминовых продуктов»;

2026 г. 21-23 октября Восьмая конференция «Гуминовые вещества в биосфере», которая прошла совместно с ежегодной XI международной конференцией СНГ МГО по гуминовым инновационным технологиям «HIT-2026» «Природные и искусственные гуминовые вещества: перспективы для природоподобных технологий и биоэкономики» и IV международной молодежной научной школой «Проблемы измерения биологической активности гуминовых продуктов».

Большим достижением Программного комитета считаю тот факт, что благодаря совместному проведению конференций нам впервые удалось объединить усилия всех исследователей гуминовых веществ и препаратов на их основе из разных научных школ, организаций и городов, о чем свидетельствует беспрецедентное число зарегистрировавшихся на сайте конференции участников (177 чел.) и 134 человека реально принявших участие в конференции.

За время, прошедшее с момента Первой конференции, наука о химии и экологических функциях гуминовых веществ в почве и биосфере существенно продвинулась. Появились новые методы, возникли новые научные школы, существенно увеличилось производство и расширились области применения гуминовых препаратов. Все это вызвано взрывной характер исследований гуминовых кислот, о чем свидетельствует статистика научных публикаций – более 12 тысяч статей в мире только за 2025 год! Научные исследования процесса естественной и контролируемой гумификации позволили более полно оценить экологическую роль гуминовых веществ в условиях антропогенной эволюции биосферы. Все это внушает уверенность в дальнейшем расширении исследований природных и искусственные гуминовых веществ, производстве и применении гуматов в современных аграрных, природоподобных и биомедицинских технологиях.

Председатель Программного комитета
VIII Конференции «Гуминовые вещества в биосфере»,
д.б.н., профессор С.Н. Чуков

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Гумификация как основа стабильности биосферы 15

Природные и искусственные гуминовые вещества и их место в зеленых, биомиметических, природоподобных и экоадаптивных технологиях 16

Свободнорадикальные окислительные реакции в стабилизации органического вещества почв 18

Роль гуминовых веществ в осуществлении почвообразовательного процесса 19

Пространственное варьирование общего содержания и запасов углерода органических веществ в почвах агроценозов 21

Биоиндикация и биотестирование в оценке влияния гуминовых продуктов на почвенные экосистемы: интеграция химических и биологических показателей 22

Углеродистые материалы в биоинженерии почв 24

Comparative assessment of the redox status of iron(III) oxohydroxide complexes stabilized by humic ligands in cell culture 25

СЕКЦИЯ 1
Процессы гумификации в условиях антропогенной эволюции биосферы и контролируемая гумификация органических отходов

Изменение содержания и качественного состава органического вещества дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений 27

Гумусное состояние дерново-подзолистых почв после многолетнего использования в севооборотах различной интенсивности 28

Гумусовое состояние черноземов обыкновенных 30

Качественный состав органического вещества агродерново-подзолистых почв склонового агроландшафта: влияние сезонной динамики, рельефа и агротехнологий 32

Влияние подсыпок из щепы лиственных пород на органическое вещество дерново-подзолистых почв в условиях мегаполиса 33

Изменение состава и структуры гуминовых кислот компостов под влиянием извести и биоугля 35

Mechanochemistry of humic organomineral systems: from reactivity to interfacial interactions 37

Оценка изменения микробной активности, почвенного дыхания и ферментативной активности под действием препаратов «Лигногумат» марок А и АМ 38

Структурно-молекулярная организация гуминовых кислот почв залежных земель Северо-Запада России 40

Содержание углерода в почвогрунтах намывных территорий Санкт-Петербурга и их биологическая активность 42
Энергетическое состояние гумуса болотных солончаков 43
Геохимическая роль гуминовых кислот в инноктивации потенциально токсичных элементов в торфяных почвах 45
Лабильное органическое вещество и биологическая активность верхних горизонтов буроземов и светло-охристой вулканической почвы кальдеры вулкана головнина, о. Кунашир 46
Спектральные признаки гумификации водорастворимого органического вещества при компостировании отходов ЦБК 48
Формирование органо-пленочного каркаса для создания исскуственного органогенного слоя 49
Применение извести и биоугля в агродерново-подзолистых почвах Ленинградской области 50
Характерные особенности гумусового состояния почв Василеостровского района Санкт-Петербурга 52
Гуминовые вещества поверхностных горизонтов почв острова Валаам: молекулярная структура (^{13}C-ЯМР, ЭПР) и связывание микроэлементов 54
Влияние pH и загрязнения на продукцию меланиноподобных соединений почвенными бактериями рода Bacillus: перспективы их роли в формировании гумусоподобного органического вещества 56
Миграция тилозина из навоза и навозной жижи в фильтрационных экспериментах на насыпных образцах дерново-подзолистой почвы 57
Изменение содержания органического вещества почв при орошении 58
Элементный состав гуминовых кислот островного бурозема острова Русский (Приморский край) 60
Влияние антропогенного воздействия на биологические свойства придорожных почв Василеостровского района Санкт-Петербурга 61
Биоуголь, гумат и полимер: воздействие на пулы гумуса и свойства почв 63
Изменение гумусного состояния орошаемых почв северной Ферганы 64
Влияние влажности шлам-лигнина на результаты оценки токсичности водных вытяжек 67

СЕКЦИЯ 2

Современные методы инструментальной аналитики для исследования природных и искусственных гуминовых систем, почвенного и растворенного органического вещества

Исследование влияния времени кросс-поляризации на спектры CP/MAS ^{13}C ЯМР гуминовых кислот 68
Оценка влияния нефтяного загрязнения на компоненты почвенного органического вещества: оптимизация ИК-спектроскопического анализа с применением водного раствора ДМСО 69

EPR spectroscopy as a tool for assessing the humification potential of brown coals via maceral composition 71
Analytical approaches to the study of coals and humic substances as a sources for rare earth element extraction 72
Компонентный состав органического вещества бурых углей разных месторождений 73
Изменения состава растворенного органического вещества ризосферы сельскохозяйственных культур в условиях засухи и переувлажнения 75
Интегральные ферментативные методы диагностики уровня загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами 76
Взаимодействие гуминовых кислот и высокомолекулярных биополимеров с пероксидазой 77
Как неоднородность спектральных свойств почв влияет на моделирование содержания углерода органического вещества? 79
Фракционирование почвенного органического вещества: принципы, подходы и требования к методам 80
Разработка комбинированного оптико-масс-спектрометрического подхода для различения техногенного и природного растворённого органического вещества 82
Определение гуминовых и фульвокислот в водных растворах без предварительного разделения методом спектрофотометрии 84
Стабильные изотопы углерода и азота в исследовании органического вещества культурных слоев геоархеологических памятников 85
Углерод засоленных почв: сравнение методов определения определения во внутрилаблораторном эксперименте 87
Термогравиметрия как инструмент оценки состояния органического вещества дерново-подзолистых почв в условиях агрогенеза 88
Влияние окислительной модификации H_2O_2 на функциональный состав торфа по данным потенциометрического титрования 90
Состав и характеристики коллоидных систем гуминовых и фульвокислот из окисленных бурых и каменных углей 92
Количественная оценка полноты извлечения углерода из черноземов методами традиционного и гумиомного фракционирования 93
^{13}C ЯМР-спектрометрическая характеристика гуминовых кислот и их связь с накоплением тяжелых металлов в почвах катены постгляциального ландшафта на примере горы Эльбрус 94
Опыт использования количественных параметров флуоресценции испускания гуминовых кислот при оценке поведения почв в меняющейся природной среде 96
Оценка состава водоэкстрагируемого вещества почв методом термохимолиза 98

Оптические индексы растворённого органического вещества как инструмент прогнозирования эффективности коагуляции 99
Изучение молекулярного состава шлам-лигнина под действием электрообработки методом МС ИЦР ПФ 101

СЕКЦИЯ 3
Роль гуминовых веществ и компонентов почвенного органического вещества в цикле углерода наземных и водных экосистем

Стратификация органического вещества почв в процессе естественного восстановления бывших пахотных земель как показатель секвестрации углерода 103
Гумусовые вещества – открытая природная саморегулируемая система 104
К методологическим аспектам изучения стабилизации и устойчивости гумуса 106
Роль биогенных источников в формировании углеводородного профиля почв зоны южной тайги 108
Роль активной и стабильной частей органического вещества в плодородии почв 109
Количественная оценка структурных пулов почвенного органического вещества в некоторых типах почв Приуральского района ЯНАО 111
Оценка влияния нулевой обработки на распределение органического углерода в гранулометрических фракциях и фракции POM агрочернозема текстурно-карбонатного 112
Отклик органического вещества ризосферы ячменя на контрастные режимы увлажнения 114
Гумификация лишайников в условиях криолитозоны Западной Сибири 115
Состав и свойства гуминовых кислот субаквальных почв меромиктических водоемов Белого моря 116
Роль гуминовых кислот в разрушении органического вещества сообществом хемотрофных и фототрофных бактерий 118
Лесные подстилки – первый этап гумификации в лесных биогеоценозах..... 119
Химическая природа и возможное происхождение гумусовых веществ пресных водоемов 120
Особенности молекулярного строения гранулометрических фракций агродерново-подзолистых почв в зависимости от положения в рельефе и внесения удобрений. 121
Классификационное положение почв черноземного типа с точки зрения лабильных органических веществ и биологической активности 123
Роль минеральной матрицы почвы во фракционировании ФК по амфифильным свойствам 124
Flocculation of colloidal bentonite at the river-sea geochemical barrier: the role of calcium ions and humic acids 126

Трансформация гуминовых кислот палеопочв Забайкалья как индикатор климатических изменений в плиоцене 128
Качественный состав растворенного органического вещества подзолистых почв и его влияние на прилегающие ручьи....129
Состав и свойства гуминовых кислот почв со вторым гумусовым горизонтом .131
Модификация непрерывной модели качества органического вещества почвы на основе данных Py-GC-MS его агрегатов 132
Органические соединения торфов, их модификация и роль в биосфере 134
Трансформация гуминовых веществ под действием пирогенного фактора....135
Структурные особенности гуминовых кислот бурозема и бурозема-кармана по данным ^{13}C-ЯМР-спектроскопии (дархитуй, юг Витимского плоскогорья).....137
Элементный состав гуминовых кислот дисперсно-карбонатных черноземов Западного Забайкалья 138
Элементный состав и структурные особенности гуминовых кислот в пойменных почвах дельты реки Селенга....140
Органический углерод, окраска и химический состав почв отвалов меловых карьеров в режиме посттехногенной ренатурации....141

СЕКЦИЯ 4
Биологическая активность природных и искусственных гуминовых веществ и методы ее оценки

Биологическая активность модифицированных гуминовых веществ бурых углей 143
Отходы, которые управляют урожаем: прецизионное регулирование роста пшеницы гуминоподобными биостимуляторами из лигнина 144
Комплекс методов для изучения взаимодействия гуминовых веществ и микроскопических мицелиальных грибов 146
Comparative analysis of the bioavailability of liposomal and non-liposomal forms of humic substances 147
Влияние гуминовых веществ на содержание полифенолов в листьях расторопши 149
Исследование эффекта хронического стресса и гумата натрия из торфа на миелому Sp2/0 Ag14 у мышей BALB/c....150
Standardization of a silver nanoparticle substance localized in a humic matrix 152
Ингибирующая активность узких фракций гуминовых кислот, выделенных на сорбенте Bond Elut C18, в отношении сериновых и металло-β-лактамаз 153
Оценка эффективности комплексного удобрения на основе гуминовых веществ на содержание магния в образцах микрозелени 154
Антиоксидантные свойства отдельных компонентов торфа....155
The fertilizing and growth-promoting properties of an organic fertilizer based on humic substances on major agricultural crops 157

СЕКЦИЯ 5
Природные и искусственные гуминовые вещества в аграрных, природоохранных и биомедицинских технологиях

Применение гуминового препарата при решении проблем деградации почв 159

Влияние гумата кальция на рост и развитие ячменя ярового (*Hordeum Sativum*) в условиях загрязнения почвы бенз(а)пиреном 160

Влияние гуминовых макролигандов на размер магнитной фазы плавучих сорбентов 162

Типология гербицидов и сегетальный фактор в стратегии применения гуминовых препаратов 163

Макро- и микроэлементный состав гуматов, полученных из бурых углей кангаласского месторождения 165

Влияние гуминовых удобрений на запасы гумусовых веществ в агрочерноземе 166

Оценка состава и дозы применения гумусового препарата при загрязнении грунта дизельным топливом 168

Оценка применения гуминовых препаратов при загрязнении грунта дизельным топливом 169

Гумификация соломы с применением препарата микобакт: итоги нейросетевой обработки данных 171

Агрегирование мелкозема чернозема длительного пара в присутствии бурого угля и торфогеля 173

Получение твердых стабилизаторов эмульсий пикеринга для создания промывных систем очистки от нефтяных загрязнений 174

Синтез и функциональные свойства композитов на основе наночастиц серебра, стабилизированных природными гуминовыми макролигандами 176

Влияние почвосберегающих технологий на трансформацию лабильного органического вещества в пахотном горизонте темно-каштановой почвы . 177

Влияние листовой подкормки препаратами с фульвокислотами на урожайность пшеницы сорта «Бурлак» 179

СЕКЦИЯ 6
Гуминовые препараты для природоподобных технологий и биоэкономики

Система управления экологической безопасности агроэкосистем 181

Природоподобная технология получения гуминовых удобрений и препаратов 182

Влияние жидкого органоминерального удобрения гумат калия на ферментативную активность почвы 184

Со-компостирование нефтезагрязнённого осадка сточных вод с гуматом калия и адаптированным инокулятом 185

Зоогумус личинок черной львинки (*Hermetia Illucens*) как возобновляемое сырье для экстракции гуминовых веществ 188
Содержание гумуса и pH почв города Коканда и прилегающих территорий в различных функциональных зонах 189

IV Международная молодежная научная школа «Гуминовые вещества: современные методы оценки и применения»

Биотестирование гуминовых препаратов: от стандартных протоколов к биологически релевантным оценкам эффективности 191
Ферментативные биолюминесцентные системы для оценки биологической активности и токсичности сложных природных смесей 192
Радиопротекторная активность гуминовых веществ. Биолюминесцентный мониторинг 194
Отходы ЦБП как углеродсодержащие мелиоранты: отклик микробного сообщества различных субстратов 195
Elemental composition and biogenic potential of brown coal-derived fulvic acids: the role of deposit and degree of purification 196
Влияние реакций окислительного связывания, катализируемых лакказой, на сорбцию гуминовых кислот глинистыми минералами 198
Гуминовые вещества и фенольные соединения лигнина в верхнем слое донных осадков Карского моря 199
Гуминовые композиты на основе наночастиц оксида цинка для фолиарной обработки растений 201
Study of silver nanoparticle–humic substance composites for reducing nanotoxicity and enabling nature-inspired applications 202
Применение фитотестирования при разработке состава гуминовых препаратов 204
Сравнение биологических откликов при хроническом фитотестировании почв разной гумусированости 205
Гумат-стабилизированный ферригидрит как удобрение пролонгированного действия для профилактики железного хлороза 207

Алфавитный указатель 208

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ГУМИФИКАЦИЯ КАК ОСНОВА СТАБИЛЬНОСТИ БИОСФЕРЫ

Чуков С.Н.
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
S_Chukov@mail.ru

Гумификация считается вторым по масштабности процессом превращения органического вещества в биосфере после процесса фотосинтеза. Почва - один из самых больших резервуаров углерода в биосфере (1500 Гт углерода). Причем самым стабильным резервуаром (не менее сотен и тысяч лет) являются гуминовые вещества (ГВ), которые образуются в процессе гумификации.

Первую теорию гумификации, как основы происхождения чернозёмов, изложил еще М.В. Ломоносов в книге "О слоях земных" (1763). В.И.Вернадским ГВ были определены как универсальный продукт трансформации растительных остатков не только в почве, но и в других природных сферах. Причем процессы трансформации этих остатков идут в направлении относительного накопления наиболее биотермодинамически устойчивых продуктов, что само по себе обусловливает их стабильность. ГВ служат резервуаром стабилизации углерода почти во всех сферах Земли.

В последнее время развиваются концепции так называемой негуминовой стабилизации органического веществ почв, основанные, на процессе окклюдирования органических остатков высокодисперсным минеральными частицами. Однако возраст этих негуминовых фракций по данным разных авторов как правило не превышает десятков, максимум сотен лет. Гумификация приводит к формированию специфических крупных макромолекул, которые обладают уже существенно более высокой устойчивостью, что существенно повышает их возраст в условиях активного биологического круговорота (в черноземе 1–3 тыс. лет). А в условиях его замедления и заторможенности в результате дефицита органических остатков в погребенных или палеопочвах возраст ГК может достигать 5–6 тыс. лет и более.

Стабильность ГВ как тысячелетнего резервуара стока углерода обеспечивается биохимической устойчивостью их молекулярной структуры и прочной связью с минеральной матрицей почвы. Поэтому экологическая функция ГВ в аспекте аккумуляции органических соединений углерода и запасенной в них энергии крайне важна для стабильного функционирования экосистем и биосферы в целом.

Неудивительно, что IUPAC в 2021 г. объявил именно гумификацию «перспективной технологией №1 в решении важнейших проблем человечества». В настоящее время гумификацию рассматривают как важный компонент циркуляционной экономики замкнутого цикла и как перспективную технологию декарбонизации. Будущее за ГВ, полученными в ходе процессов гумификации побочных продуктов животноводства, дебриса и других органических отходов и разработкой углеродоотрицательных (carbon negative) экоадаптивных технологий в рамках «зеленой химии». В частности, рассматриваются промышленные

технологии искусственной гидротермической гумификации органических отходов и др. В России данная проблема активно обсуждается и разрабатывается на основе вступившего в силу 1 марта 2023 г. Федерального закона, регламентирующего переработку органических отходов сельскохозяйственного производства.

Разработанная нами теория эволюционной гумификации позволяет описать этот процесс на всех его стадиях не только качественно, но и количественно. На поверхность почвы и вглубь почвенного профиля с постмортальными остатками поступает около $60x10^9$ т углерода. Большая часть их минерализуется, но около 10% превращается в ГВ. Ежегодно (по разным источникам) от 2,5 до $5,0x10^9$ т углерода включается в процесс гумификации и переходит в ГВ. Эта теория применима к разным природным сферам являющимися ареной этого глобального процесса и количественные параметры уровней стабилизации ГВ имеет важное значение для корректного прогноза процессов эмиссии или стока климатически активных газов в почвенном покрове разных природных зон.

ПРИРОДНЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА И ИХ МЕСТО В ЗЕЛЕНЫХ, БИОМИМЕТИЧЕСКИХ, ПРИРОДОПОДОБНЫХ И ЭКОАДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Перминова И.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
perminovaiv@my.msu.ru

В последние годы в связи с мощным общественным запросом на “зеленые” технологии и “биологизацию” экономики многократно возросло употребление разнообразных “био”- и “эко”-ориентированных определений без объяснения терминологической сути различий, которые они с собой несут. К числу таких терминов относятся “зеленые”, “биомиметические”, “природоподобные” и “экоадаптивные” технологии. При этом термин “экоадаптивные” был предложен и введен в употреблении автором этих строк в публикации [1], которая стала результатом доклада на 7-й Международной конференции по зеленой химии ((ICGC-7) Международного Союза по Чистой и Прикладной Химии (IUPAC), состоявшегося в РХТУ имени Д.И. Менделеева в Москве в 2017 г.

В настоящем докладе сделана попытка развить и более полно определить термин “экоадаптивные технологии”, сформулировать терминологические различия экоадаптивных технологий по сравнению с зелеными, биомиметическими и природоподобными технологиями. Для наглядной демонстрации сути предлагаемых формулировок и их различий в качестве предмета приложения использовано получение и применение природных и искусственных гуминовых веществ.

Для введения в проблему дано определение гуминовых систем как продукта процесса гумификации, протекание которого обусловлено спецификой эволюционной химии углерода на стыке живого и неживого вещества.

Молекулярным способом реализации гуминовых систем является супрамолекулярный ансамбль продуктов окислительной деградации биомакромолекул на разной степени превращения с высокой степенью химического разнообразия и полидисперсности. К эмерджентным свойствам гуминовых систем относятся устойчивость к биоразложению и наличие протяженной области поглощения в длинноволновой (“красной”) области спектра.

Системная специфика гуминовых веществ определяет сложность воспроизведения природных механизмов гумификации в лабораторных условиях при получении “искусственных гуминовых веществ” [3], а также конструирования химикатов, материалов и процессов на их основе. Природные, модифицированные и искусственные гуминовые вещества определены как: природные отобраны окружающей средой, модифицированные спроектированы человеком под конкретную функцию, искусственные созданы человеком. Для каждого типа приведены процессы и способы получения.

Четыре подхода к определению технологий сформулированы путем сопоставления конкретных объектов и критериев каждому типу технологий. Объектом “зеленых” технологий является материал, процесс и производство, критерий - меньше вреда и отходов. Для биомиметических технологий объект - структура или функция организма, критерий - техническая функция достигнута. Для природоподобных технологий объект - природный механизм, замкнутый цикл, критерий - воспроизведен механизм по образцу природы, цикл замкнут. Для экоадаптивных технологий объект - открытая биогеохимическая система, критерий - система сохраняет способность к восстановлению. Тем самым показано, что описанные подходы не конкурируют друг с другом, а задают разные уровни технологий: каждый следующий задаёт критерий предыдущему.

Примеры применения сформулированных подходов: “зеленые” технологии - получение гуминовых препаратов из возобновляемого сырья или отходов, но “зеленая химия” ничего не говорит о том, что будет с экосистемой после внесения этих препаратов. Биомиметические технологии - предложенный нами синтез “биомиметиков” ферритина на основе оксогидроксидов железа в оболочке гуминовых макролигандов. При этом биомиметика-это поиск источника решений “у кого подсмотреть”, но не критерий их приемлемости для экосистемы. Природоподобные технологии и материалы: искусственная гумификация, воспроизведение эмульсий Пикеринга при очистке нефтезагрязненных систем путем создания промывных агентов на основе гуминово-глинистых реагентов. Искусственные ГВ: учимся у природы, но ускоряем процесс, критерий – механизм воспроизведён и цикл замкнут. Но остаётся вопрос: выдержит ли система то, что мы в неё внесли. Экоадаптивные технологии: in situ установка гуминового проницаемого реакционного барьера, in situ рекультивация шлам-отстойников лигнина. Критерий: система сохраняет способность восстанавливаться без вмешательства человека, технология не борется со средой, а встраивается в нее. Тем самым вопрос о судьбе системы наконец задан – в этом и состоит различие экоадаптивных от всех рассмотренных выше технологий.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках госзадания МГУ №122040600057-3

Список используемой литературы

1. Perminova I.V. From green chemistry and nature-like technologies towards ecoadaptive chemistry and technology // Pure and Applied Chemistry. – 2019. – Vol. 91(5). – P. 851-864.

СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ В СТАБИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ

Заварзина А.Г.
МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва
zavarzina@mail.ru

Органическое вещество почвы (ОВП) является крупнейшим резервуаром органического углерода в наземных экосистемах. Процессы его образования и деструкции во многом определяют современный климат. Потепление и изменения в землепользовании могут смещать биологические факторы устойчивости экосистем, усиливая минерализацию ПОВ и приводя к декарбонизации почв. Понимание биологических и физико-химических механизмов, регулирующих круговорот углерода в почвах, важно для внедрения устойчивых стратегий управления пулом углерода, обеспечивающим его защиту от природных и антропогенных воздействий.

В настоящее время считается, что основную роль в стабилизации углерода в почвах играют органо-минеральные взаимодействия и функциональная сложность ПОВ, ограничивающие его деструкцию. Вместе с тем, традиционные представления о роли свободнорадикальных реакций конденсации в связывании и стабилизации ПОВ являются предметом дискуссий. Эти реакции инициируются как абиогенными катализаторами - в первую очередь оксидами Mn и Fe, так и ферментами – фенолоксидазами и пероксидазами. В лабораторных условиях показано, что в этих реакциях фенольные соединения окисляются молекулярным кислородом или перекисью водорода до феноксильных радикалов и хинонов и далее подвергаются спонтанным реакциям окислительного связывания, приводящим к образованию веществ с более высокой молекулярной массой, чем исходные вещества. С другой стороны, свободнорадикальные процессы могут запускать и деградацию фенольных полимеров – лигнина и высокомолекулярных компонентов гумусовых кислот. Протекание свободнорадикальных реакций в почвенных условиях остается малоизученным. В частности, подвергается сомнению сама возможность протекания этих реакций в значительных масштабах с учетом низких концентраций исходных веществ, взаимодействия субстратов с минеральными фазами, а также представлений о том, что этот процесс сопровождается затратами энергии, и термодинамически невыгоден. Нами проведены модельные лабораторные эксперименты, показывающие важную роль свободнорадикальных реакций в усилении связывания органического углерода минеральными фазами почв при окислительной активности и концентрации субстратов, близких к природным условиям.

В качестве биокатализатора использовали фермент лакказу (бензолдиол:оксидоредуктаза, КФ 1.10.3.2). Лакказы широко распространены в почвах, продуцируются грибами и бактериями и присутствуют в двух формах - как двухдоменные (2D) и трёхдоменные (3D) белки. Двухдоменные лакказы обнаружены исключительно у бактерий и катализируют окисление субстратов при щелочных значениях pH (8–9), тогда как трёхдоменные лакказы встречаются как у грибов, так и у бактерий и катализируют окисление субстратов при кислых и нейтральных значениях pH (4–7). Нами разработан метод, позволяющий разделять 3D- и 2D-лакказоподобную и абиотическую окислительную активность в почвах. Показано, что активность 3D лакказ составляет всего 10-20% от общей окислительной активности почв с АБТС, активность 2D лакказ - 30–80% и абиотическая - 17–68%. Эксперименты по сорбции фенольных кислот минералами каолинитом и иллитом в присутствии и отсутствии лакказы показали, что лакказа усиливает связывание Сорг в 2-3 раза за счет образования олигомеров, которые сорбируются минералами. Лакказа также способствует связыванию гуминовых кислот минеральными фазами в 1,2-1,5 раза. Роль лакказы тем выше, чем ниже собственная окислительная активность минеральных фаз. Очень высокая окислительная активность бернессита нивелировала вклад лакказы в свободнорадикальные реакции. Показано также, что при активности фермента, характерной для почв, лакказа не способна катализировать реакции деполимеризации гуминовых кислот. Таким образом, фермент играет важную роль в стабилизации углерода в почвах. Это стоит учитывать при внесении препаратов лакказы в почвы в целях усиления секвестрации углерода или в целях биоремедиации - показано, что лакказа за счет полимеризационной активности участвует в детоксификации ксенобиотиков, ПАУ и других загрязняющих веществ. Поддержание высокого естественного уровня активности фермента в почвах путем регулирования влажности и pH может являться важным подходом для разработки систем устойчивого землепользования, направленного на сохранение углеродного пула почв.

Работа выполнена в рамках Госзадания 121040800154-8.

РОЛЬ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Абакумов Е.В.
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
E_abakumov@mail.ru

После публикации в журнале Nature в 2015 г известной статьи (DOI: 10.1038/nature16069) посвященной пересмотру теории гумусообразования и гумификации, понятие о гумусе претерпело во многих научных журнала политику отмены, причем такую, что статьи с упоминанием гуминовой терминологии перестали принимать к рассмотрению. Некоторые научные группы даже стараются избегать гуминовых компонентов в словообразовании. Возникло антигумусовое

движение, которое изучает органическое вещество как некоторый континуум разлагающихся органических соединений. Между тем, противоположная точка зрения продолжается существовать, и многие, небезосновательно считают, что гумус есть, а гумификация происходит. У этого факта есть онтологическое и гносеологическое основание. Бытие гумуса подтверждается тем, что существует география гумусовых профилей почв, соответствующих зональных типам почв, не зря В.В. Пономарева утверждала о том, что гумусообразование не только движущая сила, а почти синоним почвообразовательного процесса, убедительно показав это во многих публикациях. Действительно, если рассматривать пахотные почвы (и некоторые «слои», а не генетические горизонты), то можно потерять почвенно-генетическую интерпретацию почвообразовательного процесса, движимую, в том числе органоминеральными взаимодействиями. Но, в таком случае, можно и подзолистый процесс интерпретировать как совокупность процессов постепенного разложения минеральной части почвы, забыв о том, что подзолообразование выполняет важнейшие экосистемные - «ответные» функции, как, впрочем, и черноземообразование, буроземообразование и т.д. Если исследовать хроносерии почвовосстановления в экогенетических сукцессиях на начальных стадиях почвообразования, то роль системы органических подстилочных горизонтов в запуске почвообразования в минеральных горизонтах становится максимально очевидной. Таким образом, в почвах гумус есть и это процессная и движущая сила почвообразования, я не совокупность прогрессивно разлагающихся органических соединений. Сама гносеология почвоведения не может существовать без гумуса. Латинское слово “humus” служит для обозначения земли и почвы. Митрополит Антоний Сурожский писал: «*На латинском языке humilitas, смирение происходит от слова humus – «плодородная земля»…Смирение – это состояние плодородной земли; земля всегда у нас под ногами, она самоочевидна, она забыта; по ней мы ходим – и никогда её не вспомним; она открыта всему, в неё мы кидаем отбросы, всё, что нам не нужно. Она безмолвна и всё принимает, – и самый навоз, и отбросы она принимает творчески и обращает их в живое и животворное богатство. Она самое разложение претворяет в новую силу жизни; открытая дождю, открытая всякому семени, она приносит плод в тридцать, в пятьдесят и во сто крат»*. (Человек перед Богом. Ч. 2. Уход в глубины. 2006).

Так и происходит в лесу и степи: опад поступает на и в почву, а дальше творчески, в ходе гумусообразования, дает нам саму почву, и не просто гумусовый горизонт, дает плодородие, прекрасный морфологический дифференцированный профиль. И именно поэтому российские почвоведы предпочитают отбор проб именно из генетических горизонтов, а не с фиксированных глубин, которые, как и многое в западной науке, основано на «правилах», а не на природных и реально существующих процессах. Таким образом, гумус есть, поскольку есть почвообразовательный процесс. А если редуцировать его до трансформации и разложения, органических или минеральных веществ, то и почвы не должно быть, но в России этот сценарий невозможен, по крайней мере для тех, кто читал труды В.В. Докучаева.

Работа выполнена при поддержке РНФ № 26-16-20034, соглашение с РНФ от 12.05.2026 и договор с СПбНФ от 10.06.2026.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ И ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ АГРОЦЕНОЗОВ

Хитров Н.Б.
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва,
khitrovnb@gmail.com

Для почв характерна изменчивость содержания углерода органических веществ ($C_{орг}$) в пространстве и во времени. Существующие оценки многолетнего тренда изменения $C_{орг}$ в почвах обычно находятся в пределах до 0.07%(абс.)/год по содержанию $C_{орг}$ и до 0.5 т/(га год) по запасам $C_{орг}$. Величина годового прироста содержания $C_{орг}$ в почве сопоставима или меньше аналитической воспроизводимости используемых методов, заметно меньше амплитуды сезонной динамики и еще меньше по сравнению с пространственной вариабельностью рассматриваемых показателей. При ведении мониторинга содержания и запасов $C_{орг}$ в почвах агроценозов именно показатели пространственного варьирования и связанные с ними число пространственных повторений отбора образцов и интервал времени между измерениями определяют возможность получения приемлемой минимальной значимой разницы средних двух сроков измерений. Цель сообщения – систематизировать сведения о пространственном варьировании содержания и запасов $C_{орг}$ в разных почвах агроценозов на площадках малого размера (30×30 м).

Объекты. Агродерново-подзолистые суглинистые на морене и агродерново-подзолы песчаные на флювиогляциальных песках (12 площадок, Тверская обл.), агродерново-подзолистые на покровных суглинках (4 площадки, Московская обл.), агрочерноземы мицелярные и агрочерноземы глинисто-иллювиальные глинистые (6 площадок, Воронежская, 7 площадок, Самарская обл.), агрочерноземы сегрегационно-карбонатные на лёссовидных суглинках и глинах (7 площадок, Ростовская обл.), агротемногумусовые аккумулятивно-карбонатные суглинистые (8 и 5 площадок в двух хозяйствах, Ставропольский край), агрокаштановые почвы и агроземы аккумулятивно-карбонатные суглинистые (7 площадок, Волгоградская обл.) на пашне с разными технологиями обработки почв.

В пределах каждой динамической площадки мониторинга 30×30 м заложено 9 индивидуальных точек опробования, расположенных крестом. Использован дифференцированный отбор образцов почв по глубине слоями 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 см и глубже через 10 см до нижней границы гумусового слоя. В центральной точке определена плотность почвы в 5-кратной повторности по всем слоям. Определение $C_{орг}$ методом сухого сжигания на приборе Метавак. При наличии карбонатов расчет $C_{орг}$ по разнице общего С и С карбонатов, измеренного методом Козловского. Оценка пространственного варьирования сделана по величине стандартного отклонения и коэффициента вариации. Подавляющее число выборок разных показателей допустимо считать нормально распределенными по критерию Уилка-Шапиро.

Основные тезисы.

Каждый полигон имеет своеобразие изменения стандартного отклонения и коэффициента вариации содержания и запасов $C_{орг}$ в зависимости от глубины слоя, значений содержания и запасов $C_{орг}$.

В пахотных горизонтах наблюдается наименьшая вариация содержания и запасов $C_{орг}$ в профиле; глубже встречается три варианта изменения: (а) увеличение ступенчатое; (б) увеличение линейное; (в) тот же порядок величин.

В пределах пахотного горизонта в ряду почв разных типов с возрастающим содержанием $C_{орг}$ наблюдается тенденция увеличения абсолютного значения стандартного отклонения и близкий порядок величин коэффициента вариации на фоне широкого разброса каждого показателя во всех диапазонах $C_{орг}$.

При сравнении двух площадок в пределах одного полигона минимальная значимая разность средних линейно или параболически увеличивается в зависимости от значения запаса $C_{орг}$ в обобщенном слое возрастающей мощности.

В ряду почв разного типа с возрастающим содержанием $C_{орг}$ минимальная значимая разность средних запаса $C_{орг}$ в слое 0-30 см не зависит от величины запаса $C_{орг}$ в этом слое при широком разбросе значений во всех его диапазонах.

БИОИНДИКАЦИЯ И БИОТЕСТИРОВАНИЕ В ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ГУМИНОВЫХ ПРОДУКТОВ НА ПОЧВЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ: ИНТЕГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Терехова В.А.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
vterekhova@gmail.com

Гуминовые продукты (ГП) широко применяются в агропромышленном комплексе и для восстановления деградированных земель. Однако в Российской Федерации до сих пор не разработана и не утверждена унифицированная система оценки качества данной категории веществ, аналогичная действующей для минеральных удобрений. Этот пробел создаёт острую проблему стандартизации как самих препаратов, так и методов их исследования. При этом в мире и в России существует несколько разрозненных подходов к оценке качества ГП – от международных стандартов ISO и авторитетных методик научных сообществ до национальных ГОСТов, зачастую имеющих узкую область применения. Помимо физико-химических характеристик (концентрации гуминовых и гидрофобных фульвокислот, зольности и др.) российские стандарты рекомендуют методы оценки биологической активности (ГОСТ Р 54221-2010, ГОСТ Р 54249-2010).

Согласно действующим в РФ нормативным документам, рассчитывают интегральный индекс фитоактивности, а также показатель урожайности как интегральный и наиболее ценный для сельскохозяйственных культур. Однако методы полевого и вегетационного варианта испытаний эффективности ГП имеют значительную продолжительность, большие трудозатраты и множество неконтролируемых факторов. Для экспрессной оценки фитоэффектов гуминовых

продуктов (ГП) нами разработана и аттестована методика измерений биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования («Фитоскан»), зарегистрированная в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений под номером ФР.1.31.2012.11560 [1]. Расчеты положительного или отрицательного фитоэффекта позволяют устанавливать пределы концентраций ГП стимулирующих и ингибирующих развитие растений. Помимо фитотестирования, безопасность и стимулирующий эффект на живые организмы оценивают разными другими способами экспрессного тестирования. Однако для более полной оценки эффектов ГП необходимо иметь данные биоиндикации - учитывать реакцию почвенного микробиома. Мы традиционно оцениваем почвенное дыхание, микробную биомассу, метаболический коэффициент, а также ферментативную активность почв, подверженных воздействию ГП.

Разнообразие биологических методов и отсутствие единой стандартизированной процедуры (в отличие от некоторых физико-химических методов) является серьезным препятствием для стандартизации препаратов. Каков эффективный способ обобщения совокупности оценок эффективности ГП? Мы предложили способ, основанной на триадном подходе (TRIAD), регламентированным международным стандартом для почв ISO 19204:2017 [2]. В соответствии с методологией TRIAD интегральная оценка включает три линии доказательств: химическую экотоксикологическую (лабораторные биотесты) и экологическую (биоиндикация *in situ*). Для экотоксикологической оценки следует выбирать тесты, опираясь на принятый в РФ в 2022 г. документ ГОСТ Р ИСО 17616-2022 [3]. Для экспрессной оценки фитоэффектов гуминовых продуктов (ГП) подходит разработанная и аттестованная нами методика измерений биологической активности гуминовых веществ Такой междисциплинарный подход, объединяющий результаты анализа ГП по нескольким методикам, повышает объективность оценки. Способ, защищенный патентом № 27622628 [4], позволяет количественно оценить ремедиационный потенциал и сравнивать различные гуминовые препараты между собой.

Список используемой литературы

1. Методика измерений биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования («Фитоскан»): ФР.1.31.2012.11560 / В. А. Терехова, О. С. Якименко, Л. П. Воронина, К. А. Кыдралиева. – 2012.

2. ISO 19204:2017. Soil quality – Procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (soil quality TRIAD approach). – Geneva: ISO, 2017. – 27 p.

3. ГОСТ Р ИСО 17616-2022. Качество почвы. Руководство по выбору и оценке биопроб для определения экотоксикологических характеристик почв и почвенных материалов. – Москва: Российский институт стандартизации, 2022.

4. Способ определения ремедиационной способности гуминовых продуктов: патент № 27622628 C1 / В. А. Терехова, М. И. Панова, А. П. Кирюшина, С. А. Кулачкова, К. А. Кыдралиева, О. С. Якименко; опубл. 22.12.2021.

УГЛЕРОДИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ В БИОИНЖЕНЕРИИ ПОЧВ

Минкина Т.М., Бауэр Т.В.
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону
tminkina@mail.ru

Современные технологии восстановления почв требуют перехода от внесения отдельных мелиорантов к управлению системой взаимодействий «органическое вещество – минеральная матрица – микробиом – растение». Одним из перспективных инструментов такого управления являются углеродистые материалы, получаемые путем термохимической трансформации органического сырья, прежде всего биочар и гидрочар, а также создаваемые на их основе органо-минеральные и биополимерные композиты.

Функциональные свойства углеродистых материалов определяются происхождением сырья и условиями его трансформации, которые формируют соотношение ароматических и алифатических структур, содержание кислородсодержащих функциональных групп, пористость, удельную поверхность, гидрофобно-гидрофильные свойства и реакционную способность материала. В почвенной системе эти характеристики определяют способность материала участвовать в сорбции и иммобилизации загрязняющих веществ, удержании элементов питания и воды, формировании органо-минеральных взаимодействий и создании среды для развития микроорганизмов.

В рамках биоинженерии почв углеродистые материалы рассматриваются как функциональный компонент органо-минеральной матрицы, свойства которого могут быть целенаправленно заданы в зависимости от решаемой задачи. Комбинирование биочара и гидрочара с минеральными сорбентами, биополимерами, гуминовыми веществами и микроорганизмами открывает возможность создания композитных материалов для восстановления деградированных и загрязненных почв, регулирования водно-физических свойств и поддержания почвенного плодородия.

Важным направлением является получение таких материалов из органических вторичных ресурсов. Это позволяет объединить задачи переработки органического сырья, долговременной стабилизации части углерода и получения функциональных продуктов для сельского хозяйства в единую технологическую цепочку «вторичный ресурс → управляемая трансформация углерода → функциональный материал → почвенная система». Такой подход отвечает принципам природоподобных технологий и биоэкономики.

Таким образом, перспективы применения углеродистых материалов связаны не столько с их использованием как универсальных почвенных добавок, сколько с управляемым конструированием их состава. Это формирует основу для создания нового поколения функциональных материалов и биоинженерных почвенных систем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2025-686.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE REDOX STATUS OF IRON(III) OXOHYDROXIDE COMPLEXES STABILIZED BY HUMIC LIGANDS IN CELL CULTURE

Zykova M.V.[1], Buyko E.E.[1], Zhirkova A.M.[2], Azarkina L.A.[1], Ivanov V.V.[1], Lasukova T.V.[1], Mikhalev D.A. [1], Udut E.V.[1], Minko A.M.[1], Belousov M.V.[1], Perminova I.V.[2]
[1]Siberian State Medical University, Tomsk
[2]Lomonosov Moscow State University, Moscow
huminolog@mail.ru

Introduction. The development of iron-deficiency anemia (IDA) is driven by a decrease in the iron levels required for hemoglobin synthesis, as well as the depletion of iron stores in hepatocytes and macrophages. Furthermore, a history of IDA complicates the treatment of numerous diseases. Oral iron preparations cause adverse gastrointestinal effects [1], which significantly reduce therapeutic efficacy. Transitioning from ionic iron salts to complex forms lowers markers of oxidative tissue damage in patients with inflammatory bowel disease [1], making the development of such ligand systems a rapidly growing area of medicinal chemistry. Humic substances (HS) are considered promising candidates for this role [2].

Aim. To conduct a comparative assessment of the effects of various iron(III) oxohydroxide-humic complexes on basal and pro-oxidant-induced reactive oxygen species production in a cell culture model.

Materials and Methods. Samples of iron(III) oxohydroxide complexes were prepared at the Laboratory of Natural Humic Systems, Faculty of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, as described in [3]. The ligands used were coal-derived humic acids (HA, Powhumus): specifically samples HA-Fe-50 (maltodextrin: HA, Fe 126 mg/g) and HA-Fe-100 (100% HA, Fe 237 mg/g); coal-derived fulvic acids (FA, Fulvagra): specifically samples FA-Fe-50 (maltodextrin:FA, Fe 482 mg/g) and FA-Fe-100 (100% FA, Fe 94 mg/g), and maltodextrin. Intracellular reactive oxygen species (ROS) production was assessed using the fluorescent probe 2',7'-dichlorodihydrofluorescein diacetate (DCFH-DA) in the 3T3-L1 cell line, as described in [4]. Intracellular ROS production was induced using the pro-oxidants hydrogen peroxide (H_2O_2) and *tert*-butyl hydroperoxide (t-BHP). Statistical analysis was performed using GraphPad Prism 8.0 software (GraphPad Software, USA).

Results. It was found that all samples, with the exception of the fulvic acid-stabilized sample (FA-Fe-100), enhanced basal and stimulated ROS production, indicating the decisive role of Fe in mediating their pro-oxidant effect. Notably, sample FA-Fe-100 contained the lowest amount of Fe, which is consistent with its minimal pro-oxidant activity. The obtained data also suggest that the efficiency of iron binding by the humic ligand is no less significant than its absolute content. Indeed, a similar relationship has been described for model Fe/HA systems: at a low Fe/HA ratio, the humic substance acts primarily as a chelator that reduces the rate of the Fenton reaction, whereas a pro-oxidant effect predominates as the ratio increases [5]. Consequently, sample FA-Fe-100, which utilizes only fulvic acids as the matrix and thereby enables the fullest realization of their chelating potential, demonstrated the greatest capacity for modulating the complex's overall redox status.

Conclusion. Collectively, the data indicate that FA-Fe-100 is the most promising candidate among the investigated iron-containing complexes stabilized by humic ligands for developing an anti-anemia drug with a favorable redox profile.

The work was carried out with financial support from the State Task of the Ministry of Health of the Russian Federation (No. 056-00049-26-00).

References

1.Erichsen K., Ulvik R.J. Effects of ferrous sulphate and non-ionic iron-polymaltose complex on markers of oxidative tissue damage in patients with inflammatory bowel disease // Aliment. Pharmacol. Ther. – 2005. – Vol. 22(9). – P. 831-838.

2. Zykova M.V., Trofimova E.S., Pharmacological effects of humic substances and their signaling mechanisms // Molecules. – 2026. – Vol. 31(1). – ID 114.

3. Zhirkova A.M., Perminova I.V. Complex compound of iron (III) with humic substances for the correction of iron deficiency anemia. – Patent RF, RU 2 024 108 615 A, 2024.

4. Zharkova L.P., Knyazeva I.R., et al. Effect of pulsed-periodic X-ray and microwave radiation on the level of peroxides in isolated hepatocytes // Vestn. Tom. gos. un-ta. – 2010. – Vol. 333. – P. 161-163.

5. Christoforidis K.C., Louloudi M., Deligiannakis Y. Effect of humic acid on chemical oxidation of organic pollutants by iron(II) and H2O2: a dual mechanism // J. Environ. Chem. Eng. – 2015. – Vol. 3(4). – P. 2991-2996.

СЕКЦИЯ 1
ПРОЦЕССЫ ГУМИФИКАЦИИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ И КОНТРОЛИРУЕМАЯ ГУМИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Лукин С.М., Золкина Е.И., Климкина Ю.М., Марчук Е.И.
Всероссийский НИИ органических удобрений и торфа – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», г.Владимир
vnion22@yandex.ru

Введение. Наблюдающееся в настоящее время потепление климата, вследствие повышения концентрации парниковых газов в атмосфере под влиянием природных и антропогенных факторов, неблагоприятно сказывается на продуктивности естественных и антропогенных систем, обуславливает высокие риски для обеспечения населения продовольствием. Для оценки изменения содержания органического вещества в почвах при длительном их сельскохозяйственном использовании, вклада сельскохозяйственных источников в эмиссию парниковых газов, совершенствования методики учета климатически активных веществ в сельском хозяйстве необходимо создание сети углеродных стационаров в различных регионах страны. В качестве экспериментальной базы таких стационаров могли бы быть длительные стационарные опыты Географической сети опытов с удобрениями, в которых на протяжении многих десятилетий ведутся стационарные наблюдения за режимом органического вещества почв, продуктивностью агроценозов в зависимости от климатических условий.

Целью исследований явилось изучение влияния длительного применения различных систем удобрения на содержание и свойства гумусовых веществ, соотношение активных и инертных компонентов в составе органического вещества дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в длительном стационарном опыте института (аттестат опытов длительных опытов Географической сети № 008), заложенном в 1968 году на дерново-подзолистой супесчаной почве в полевом севообороте: однолетний люпин- озимая пшеница-картофель - ячмень. Опыт проводится в двух полях и включает 16 вариантов с различными системами применения удобрений. Повторность - 4-х кратная, размер делянок 161 $м^2$. Для исследования динамики и качественного состава органического вещества почвы были выбраны варианты 1. Без удобрений, 7. Навоз 20 т/га; 13. Навоз 10 т/га + N50P25K60; 14. N100P50K120; 16. Навоз 10 т/га + N100P50K120, а также бессменный с 1968 года чистый пар. Свойства почвы перед закладкой опыта: pH 6,2-6,5, гидролитическая кислотность 1,0-2,2 мг-экв./100 г, сумма поглощенных оснований 4,8-5,3 мг-экв./100 г, P_2O_5 – 14-25, K_2O – 63-104 мг/кг,

содержание гумуса 1,05-1,17 %. Определение содержания гумуса проводили по методу Тюрина, групповой и фракционный состав гумуса – по Пономаревой и Плотниковой. Содержание активного (трансформируемого) органического вещества определяли по уравнению: $C_{trans} = C_{орг} – C_{min}$, где $C_{орг}$ – содержание ОВ в вариантах опыта; C_{min} – минимальное содержание гумуса в почве длительного чистого пара.

Обсуждение результатов. В результате исследований установлено, что при длительном применении удобрений в почве возникают новые уровни стационарного состояния органического вещества, соответствующие ежегодному поступлению органического вещества с органическими удобрениями и растительными остатками и его минерализации в результате обработки почвы и отчуждения азота с урожаем культур. Уровни стабилизации содержания органического вещества в почве составили: бессменный чистый пар - 0,48 - 0,50 % в пересчете на углерод; в контроле без удобрений - 0,51±0,01 %; при внесении навоза 20 т/га - 0,82±0,06 %; внесении минеральных удобрений в эквивалентной навозу дозе - 0,58±0,04 %; сочетания минеральных и органических удобрений - 0,69±0,04 % С. В почве бессменного чистого пара за года проведения опыта содержание гумуса снизилось на 0,13% в пересчете на углерод или на 21 % от исходного.

Исследованиями установлено, что при использовании органических удобрений в составе почвенного органического вещества возрастает доля легкоразлагаемых компонентов, при этом возрастает отношение С г.к:С ф.к. и снижается оптическая плотность гуминовых кислот. При использовании органоминеральной системы удобрения основные закономерности в изменении качественного состава гумуса оказались сходными с органической системой удобрения, однако прирост содержания гуминовых кислот был ниже.

Выводы. Длительное применение удобрений вызывает изменения состояния органического вещества в почве. Отмечается стабилизация запасов почвенного органического вещества на новых уровнях, соответствующих изменению круговорота углерода в агроценозе под влиянием агротехнических факторов. В связи с этим обеспечение увеличения содержания углерода на 4 промилле в год в легких дерново-подзолистых почвах носит кратковременный характер.

ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПОСЛЕ МНОГОЛЕТНЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕВООБОРОТАХ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Суханов П.А., Комаров А.А., Тегесов Д.С.
Агрофизический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург
pavtl_suhanov@mail.ru

Представлена сравнительная оценка гумусного состояния дерново-подзолистых почв после их длительной агрогенной трансформации в системе севооборотов различной интенсивности (кормовых, зернопропашных и овощных)

в условиях Ленинградской области. В типичных для области агроландшафтах были изучены по 4 профиля в каждом из севооборотов. В качестве фоновых использованы характеристики профилей лесных дерново-подзолистых почв, заложенных при обследовании земель государственного лесного фонда в 1978-1982 годах.

Окультуривание почв Ленинградской области осуществлялось в течение десятилетий. Особенно интенсивное агрогенное преобразование почв происходило во второй половине прошлого века. В овощных севооборотах в почвы вносились высокие дозы органических удобрений (в среднем ежегодно не менее 20-25 т/га), систематически проводилось известкование почв по полной гидролитической кислотности (один раз в ротации севооборота), вносились высокие дозы минеральных удобрений (в среднем ежегодно не менее 350-400 кг NPK в д.в./га). В зернопропашных севооборотах количество вносимых органических и минеральных удобрений составляло в 1,3-1,5 раза меньше, а в кормовых севооборотах в 2,5-3 раза меньше по сравнению с овощными. В результате систематической обработки почв, известкования, внесения органических и минеральных удобрений, возделывания сельскохозяйственных культур в почвах севооборотов сформировался агрогенно обусловленный гумусовый профиль, состоящий из пахотного ($A_{пах}$) и подпахотного (A_1)горизонтов. Средняя мощность гумусового слоя ($A_{пах} + A_1$) составила в почвах овощных севооборотов – 40 см, зернопропашных – 31 см, кормовых-28 см. Средняя мощность гумусового горизонта в профилях лесных почв составила 10 см.

В исследованных профилях освоенных почв обособленный типодиагностический подзолистый горизонт (A_2) отсутствует. Признаки оподзоливания выражены у них в виде переходного горизонта A_2B, расположенного под плодородным слоем на границе с минеральной толщей. При этом его нижняя граница распространяется в среднем: до глубины 60 см в овощных, 50 см - в зернопропашных и 40 см в кормовых севооборотах. Сопоставление глубин горизонтов освоенных и целинных почв показывает, что в плодородный слой агрогенно трансформированных почв вовлечены гумусовый (A_1) и подзолистый (A_2) горизонты полностью, полностью или частично переходный (A_2B), а в ряде случаев и срединный (В) горизонт исходных лесных почв. Глубина залегания горизонта A_2B позволяет предполагать об остаточном его происхождении. Однако, нельзя исключать и вторичное его возникновение в верхней части минерального профиля под агргенно сформированным плодородным слоем. Наиболее вероятным является наложение вторичных процессов оподзоливания, развивающихся в окультуренных почвах, на сохранившуюся часть оподзоленного горизонта естественных почв. Отмечена существенная разница в содержании гумуса в почвах различных севооборотов. В пахотном горизонте почв овощных севооборотов содержание гумуса в среднем составило 5,45 % при варьировании от 4,22 до 6,62%; в зернопропашных севооборотах – в среднем 3,60%., при варьировании от 3,09 до 4,21%; в кормовых севооборотах - 3,05%, при варьировании от 2,95 до 3,21%. В подпахотных горизонтах содержание гумуса незначительно уменьшается и составляет в почвах овощного севооборота 3,29-6,08%, в почвах зернопропашного севооборота 2,49-3,85% и в почвах кормового севооборота 2,38 – 3,04%. Поскольку при полевом

исследовании присутствие гумуса в срединных и нижних горизонтах профилей визуально практически не отмечалось, можно предположить, что вглубь по профилю почв проникает лишь фульватная составляющая, способствующая вторичному оподзоливанию. Запасы гумуса в дерново-подзолистых почвах после их длительного использования в севооборотах в 2-5 раз превышают запасы гумуса в лесных аналогах. По запасам гумуса почвы образуют следующий ряд: овощные – 330 тонн/га, зернопропашные -172 тонн/га, кормовые 139 тонн/га; в лесных почвах - 68 тонн/га. Различия статистически достоверны.

ГУМУСОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ

Апарин Б.Ф.[1,2], Федорова М.Е.[2], Мингареева Е.В.[2], Чуков С.Н.[1]
[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
[2] Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, Санкт-Петербург
soilmuseum@bk.ru

Гумусовое состояние чернозёмов – интегральный типоморфный признак, по которому можно судить о направлении и масштабе почвенных изменений при различных формах антропогенного воздействия. Для оценки этих изменений необходимы объекты с точной пространственно-временной привязкой и длительной историей наблюдений.

Целью настоящего исследования являлась оценка изменения гумусного состояния черноземов обыкновенных под влиянием длительных сроков разных типов землепользования.

В рамках данного исследования объектами изучения стали чернозёмы обыкновенные (черноземы сегрегационные, Haplic Chernozem) на территории полигона почвенно-экологического мониторинга «Козловский» в Руднянском районе Волгоградской области. Были изучены почвы степного участка, пашни и дубово-кленового лесного насаждения (ЛН) – Козловского лесного массива, заложенного на месте сельскохозяйственных земель в 1896 году. В качестве эталона для ретроспективного мониторинга изучена погребенная 125 лет назад почва, обнаруженная у южного края ЛН. Исследуемые почвы сформированы на водораздельном участке с глубоким залеганием грунтовых и однородной лессовидной почвообразующей породе.

Содержание общего углерода органических соединений определялось методом мокрого сжигания по Тюрину, групповой состав гумуса – ускоренным пирофосфатным методом по Кононовой-Бельчиковой [1]. Анализ молекулярной структуры гуминовых кислот (ГК) проводился с помощью спектроскопии ^{13}C-ЯМР в образцах с глубины 5–15(20) см, подготовленных по методу С.Н. Чукова [2].

При сравнении пахотной и постагрогенной почвы под лесом с современной почвой выявлены существенные различия, обусловленные сменой землепользования. В черноземах под ЛН активизировались процессы выщелачивания, что отражается в изменениях показателей кислотности и

характере карбонатного профиля. Прекращение механической обработки способствовало разуплотнению верхних горизонтов и росту доли агрономически ценных агрегатов в постагрогенных почвах ЛН, в пахотных почвах, напротив, выросла доля микроагрегатов. При этом обе почвы сохраняют типоморфные характеристики зонального чернозёма.

Различия в землепользовании также проявились в гумусовом состоянии почв [3]. За 125 лет под лесом сформировался прогрессивно-убывающий высокогумусный глубокий профиль, а под пашней – убывающий среднегумусный среднеглубокий. Современная целинная почва также характеризуется прогрессивно-убывающим высокогумусным профилем, но заметно сниженными запасами гумуса по сравнению с погребенной почвой.

В исследованных образцах соотношение Сгк:Сфк соответствует типичным зональным значениям. Особенности землепользования проявились в характере профильного изменения данного параметра. Высокая гуматность отмечена в современном пахотном горизонте чернозема, где величина Сгк:Сфк достигла 4,7–5,5. Это согласуется с данными [4, 5] о том, что при агрогенной деградации гумуса в первую очередь минерализуются лабильные фульвокислоты. В погребённой почве описанное в литературе увеличение отношения Сгк:Сфк не выявлено. Вероятно, используемая методика не позволяет полно выделить прочно связанные фракции гумусовых веществ, которые также относительно накапливаются в погребённых почвах.

По данным спектроскопии ^{13}C-ЯМР, во всех вариантах чернозёма отмечены заметные различия молекулярной структуры гуминовых кислот (ГК). Наибольшее содержание алифатических фрагментов (Ar/Al = 1,17) характерно для ГК целинного варианта, где биологический круговорот сбалансирован и гумификация вовлекает много свежих растительных остатков; на пашне при дефицитном круговороте ароматичность выше (Ar/Al = 1,61), а в ГК погребённой почвы микробная атака в условиях дефицита субстрата привела к потере лабильных алифатических структур и четырёхкратному по сравнению с целиной росту отношения Ar/Al (4,38). Особое положение занимает чернозем под ЛН. Здесь на гумификацию накладывается влияние лесного опада и развивающегося выщелачивания, поэтому ГК здесь имеют промежуточную ароматичность (Ar/Al = 2,56).

Следует подчеркнуть, что рассматриваемые качественные параметры гумусового состояния почв характеризуют различные аспекты органического вещества, что проявляется в отсутствии прямой взаимосвязи. Заметное расширение отношения Сгк:Сфк в пахотном горизонте не сопровождается существенным ростом ароматичности (Ar/Al) по сравнению с целинной почвой. При этом мы видим относительное накопление ароматических структур в черноземе, развивавшемся на протяжении 125 лет в условиях ЛН.

Список использованных источников

1. Орлов Д.С., Гришкина Л.А. Практикум по химии гумуса: уч. пособие. – М.: МГУ, 1981. 272 с.
2. Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. – СПб.: СПбГУ, 2001. – 216 с.

3. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю., Захарова М.К., Мингареева Е.В., Кошелев А.В. Влияние массивного полезащитного лесонасаждения на содержание и запасы гумуса в черноземах // Почвоведение. – 2024. – № 12. – С. 1785-1799.
4. Громовик А. И., Горбунова Н. С., Черепухина И. В. Трансформация гумусового состояния черноземов в агроэкосистемах лесостепи ЦЧР // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2019. – №148. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-gumusovogo-sostoyaniya-chernozemov-v-agroekosistemah-lesostepi-tschr (дата обращения: 06.12.2024).
5. Кузелев М. М., Мамонтов В. Г., Сюняев Н. К., Свиридов А. К., Черенков В. В. Гумусовое состояние обыкновенных черноземов естественно-антропогенного ландшафта Каменной степи // Известия ТСХА. – 2007. – №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gumusovoe-sostoyanie-obyknovennyh-chernozemov-estestvenno-antropogennogo-landshafta-kamennoy-stepi (дата обращения: 06.12.2024).

КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СКЛОНОВОГО АГРОЛАНДШАФТА: ВЛИЯНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ, РЕЛЬЕФА И АГРОТЕХНОЛОГИЙ

Фарходов Ю.Р., Данилин И.В., Холодов В.А.
ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва
yulian.farkhodov@yandex.ru

Почвенное органическое вещество – ключевой компонент функциональной устойчивости агроэкосистем, который одновременно влияет на плодородие, структурную организацию почвы, биологическую активность, а также на устойчивость к эрозионным процессам и климатическим изменениям. Сезонная динамика, агротехнологии и рельеф формируют пространственно-временную неоднородность состава почвенного органического вещества (ПОВ) и соотношения его лабильных и стабильных пулов. Для прогнозирования динамики углерода и устойчивого управления почвами необходим учёт не только содержания общих запасов органического углерода, но и молекулярного состава ПОВ, так как его компоненты различаются по устойчивости и реакции на сезонные, агрогенные и ландшафтные факторы. Цель работы – оценить влияние сезона, положения на склоне, глубины отбора и технологии возделывания на молекулярный состав органического вещества агродерново-подзолистых почв.

Исследования выполнены на полях почвенного стационара ВНИИМЗ. Почвообразующие породы представлены флювиогляциальными песками, подстилаемыми карбонатной мореной московского возраста; территория осушена гончарным дренажом. Объект исследования – агродерново-подзолистые почвы пологого склона северной экспозиции, где выделены элювиально-аккумулятивная, транзитно-элювиальная, транзитная и аккумулятивно-транзитная позиции. На двух полях вдоль склона организован пятипольный

зернотравяной севооборот; сравнивались экстенсивная и интенсивная технологии. Заложено 8 площадок, образцы отбирали в апреле и июле с глубин 0–5 и 5–15 см под многолетними травами 2-го года пользования. Качественный состав ПОВ изучали методом ИК-спектрометрии, а также аналитическим пиролизом с газовой хроматографией и масс-спектрометрией. По данным ИК-спектрометрии, наиболее значимыми факторами были месяц отбора ($R^2 = 0,12$) и рельеф ($R^2 = 0,04$). В апреле преобладали арильные и эфирные группы, в июле – карбоксильные, карбонильные и гидроксильные. По результатам аналитического пиролиза выявлено влияние всех изучаемых факторов: месяц пробоотбора ($R^2 = 0,7$), рельеф ($R^2 = 0,07$), глубина ($R^2 = 0,01$) и технология ($R^2 = 0,006$). В образцах отобранных летом среди всех пиролизатов значимо возрастала доля фуранов, азотсодержащих соединений, фенолов, метоксифенолов и ароматических углеводородов, весной – длинноцепочечных алканов. В составе пиролизатов почв нижней части склона увеличивалась доля фуров, алканов и ПАУ, в верхней и средней – азотсодержащих соединений, метоксифенолов и фенолов. В слое 0–5 см было больше метоксифенолов – пиролизатов свежего лигнина и танинов. Интенсивная технология с применением минеральных удобрений способствовала накоплению азотсодержащих компонентов ПОВ.

В целом состав ПОВ сильнее всего зависит от сезона и положения на склоне; глубина и агротехнология влияют слабее, но статистически значимо. Весной преобладают относительно стабильные компоненты, летом – лабильные соединения и продукты их трансформации; вниз по склону увеличивается доля трансформированного органического вещества, почвы верхних позиций склона обогащены свежим органическим веществом растительного происхождения. Результаты исследования показали, что совместное применение ИК-спектрометрии и аналитического пиролиза обеспечивает информативную основу для мониторинга почвенного органического вещества в агроландшафтах.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Изучение органоминеральной системы почв как фактора-индикатора современного почвообразования» (FGUR-2025-0004).

ВЛИЯНИЕ ПОДСЫПОК ИЗ ЩЕПЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД НА ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ МЕГАПОЛИСА

Розанова М.С., Васильев Г.Р., Прокофьева Т.В., Горохов К.А., Чернова М.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва
rozanova_ms@mail.ru

Проблема эффективной утилизации древесных отходов в Российской Федерации приобретает особую актуальность, так как основная часть этих отходов отправляется на свалки или бесконтрольно сжигается. Учитывая возрастающую антропогенную нагрузку на городские экосистемы, утилизация древесных отходов, источниками которых являются санитарные рубки, в качестве

мульчи может служить примером безотходного производства. Разнообразное влияние древесной щепы лиственных пород на свойства почв описано в литературе: в качестве положительного отмечено снижение уплотнения почвы, регулирование температуры почвы, снижение роста сорняков, повышение микробиологической активности, увеличение популяции бактерий; в тоже время использование щепы в качестве мульчи ведет как к увеличению содержания азота в почве, так и к его снижению, способно изменять кислотность почвы. В тоже время, сведений по влиянию щепового покрытия на свойства и состав органического вещества почвы (ПОВ) очень мало, хотя актуальность такого вида утилизации порубочных остатков не вызывает сомнений.

На территории Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН (ГБС) проведено исследование влияния покрытия из щепы деревьев лиственных пород на органическое вещество почв (ПОВ) и ферментативную активность (ФАП) дерново-подзолистых почв. На территории ГБС был заложен модельный эксперимент по оценки влияния подсыпок щепы древесных пород на свойства почв и, в частности, на ПОВ. ГБС использует щепу в создании тропиночной сети для снижения уплотнения и размыва почв. Фоновая почва - дерново-подзолистая контактно-глееватая глубокоподзолистая старопахотная легко-тяжело суглинистая на моренных суглинках.

Задачи работы: 1. Оценка скорости разложения щепы на поверхности дорожек и влияние рекреационной нагрузки на скорость разложения щепы (по данным модельного эксперимента); 2. Оценка изменения содержания лабильных фракций ПОВ (водорастворимого ПОВ и лабильных гумусовых веществ (ЛГВ)) в почве под щепой и на контрольном участке; 3. В «естественных условиях» оценить влияние старого покрытия щепой на ОВ и биологическую активность верхних горизонтов почв, прилегающих к дорожке (по трансекте).

В исследовании были применены традиционные методы: определение Сорг выполнено методом Тюрина, углерод водорастворимых органических соединений (Свов) определен в последовательных вытяжках: а) методом холодной экстракции (30 мин при 20С) – первая вытяжка; б) далее 16-ти часовая экстракция водой при 60С – вторая вытяжка. Каталазная активность определена газометрически по количеству кислорода, выделившегося при взаимодействии H_2O_2 с почвой. Содержание дегидрогеназы определено по количеству образовавшегося формазана. Содержание инвертазы (β-фруктофуранозидаза) определено учётом восстанавливающих сахаров по Бертрану. ЛГВ (Слгв) определены в 0.1 н щелочной вытяжке без предварительного компостирования в свежих пробах; Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) - по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после обогащения почвы дополнительным источником углерода (глюкоза); БД - по скорости выделения CO_2 почвой за 24ч ее инкубации при 22°С и 60% ПВ.

Для реализации поставленных задач на территории ГБС на выбранных тропах с многолетним покрытием щепой было заложено 3 трансекты от середины тропы, где рекреационная нагрузка максимальна, до фоновых территорий, где отсутствует рекреационная нагрузка. В 2025 г. было установлено, что на площадках с рекреационной нагрузкой, потеря массы щепы за 2,5 года достигла 66,3%, тогда как на площадках без нагрузки - 60,7%. Двухлетнее исследование

показало, что древесная щепа оказывает незначительное воздействие на ФАП как непосредственно на тропах, так и на прилегающих к ним участках. На краю тропы было зафиксировано повышение относительного содержания фракций ЛГВ по сравнению с фоном. Анализ данных выявил статистически значимое снижение показателей БД и углерода микробной биомассы (Смик) в центральной части тропы. Напротив, на ее периферии зафиксированы более высокие значения этих параметров.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ КОМПОСТОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗВЕСТИ И БИОУГЛЯ

Виноградова К.А., Орлова Н.Е., Орлова Е.Е., Сюй Ш., Чуков С.Н.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
ks.smirnova.98@mail.ru

В настоящее время большая часть органических удобрений представлена компостами, состоящими в основном из новообразованных слабо гумифицированных лабильных соединений и трудногидролизуемых органических остатков, не прошедших стадию гумификации. Данное исследование предполагает определение возможности реализовать в процессе компостирования растительных остатков трансформацию новообразованных, лабильных гуминовых веществ в относительно устойчивые к биохимическим воздействиям формы. Для этого необходимо или увеличить степень химической зрелости новообразованных соединений, и/или изменить условия протекания процесса, повысив концентрацию кальция. Для реализации этих условий в качестве компонентов компостирования предполагается использовать карбонат кальция ($CaCO_3$), а также биоуголь (БУ), который характеризуется высокой обогащенностью элементами минерального питания, в том числе очень высоким содержанием кальция. Цель исследования - изучить состав и свойства новообразованных гуминовых кислот (ГК), сформированных при разложении растительных остатков в присутствии карбоната кальция и биоугля.

Исследования проводили в 90-дневном инкубационном эксперименте. Материалом для изучения разложения растительных остатков послужили свежая надземная масса клевера красного (*Trifolium pratense* L.), ржи посевной (*Secale cereale* L.) и сухая солома овса посевного (*Avena sativa* L.). В качестве добавок, активизирующих процессы трансформации растительных остатков, использовались химически чистый $CaCO_3$ и БУ, полученный быстрым пиролизом из древесины березы и осины при температуре 550°С. Характеристика БУ: Сорг = 85,6%; Nобщ = 0,43%; pHH2O = 8,1; зольность=1,8%; размер частиц 0,5-2 мм. Растительные остатки смешивали с прокаленным при 700°С кварцевым песком и инкубировали при температуре 25°С и оптимальной влажности компоста (60% от полной влагоемкости) в течение 90 суток. Соотношение растительного материала и песка 1:5, концентрация CaCO3 – 5%, БУ – 1%. Все показатели были определены с использованием традиционных методов исследования. Статистическую обработку данных проводили с помощью IBM SPSS Statistics, Version 25.

Внесенные добавки значительно изменили характер и объемы новообразования ГК, а также их дальнейшую трансформацию. Во-первых, формирование ГК протекало значительно активнее, чем в контрольных вариантах. На фоне добавок в гумификацию вовлекалось большее количество органического материала (на 20-30%.). При этом по общему количеству сформированных ГК компосты с добавками практически не различались между собой. Во-вторых, при разложении растительных остатков совместно и с $CaCO_3$, и с БУ в составе органического вещества наблюдалось образование гуматов кальция – форм ГК, обладающих высокой устойчивостью к разлагающему действию микроорганизмов и совершенно нехарактерных для молодых слабогумифицированных соединений. Несмотря на отсутствие различий в содержании ГК, их состав и качество существенно различались. Воздействие $CaCO_3$ на процесс гумификации проявилось в формирование максимальных объемов гуматов кальция (40-50% от суммы ГК). В то время как под влиянием БУ они формировались в несколько меньшем количестве (30-40% от суммы ГК), а основную массу составили лабильные ГК, причем пополнение их, независимо от химического состава растительных остатков, наблюдалось на протяжении всего эксперимента.

Значительные различия в действии изученных реагентов проявились при оценке структуры и свойств новообразованных ГК, о чем свидетельствовали результаты изучения их оптической плотности и элементного состава. Внесение $CaCO_3$ в компосты не изменило природу гумификации, поскольку индекс оптической плотности был стабилен на протяжении всего периода, что, вероятно, указывает на перегруппировку фракций (аналогично известкованию почв). В вариантах с БУ, процесс гумификации активно продолжался на протяжении всего срока компостирования – оптическая плотность ГК, содержащих устойчивые формы, была существенно выше, чем лабильных, причем в течение эксперимента она повышалась. Все это свидетельствует о более высокой степени ароматичности ГК, повышении их химической «зрелости» и в целом углублении процесса гумификации за период компостирования. Вероятно, механизм образования стабилизированных форм ГК связан не только с перегруппировкой фракций, но и с положительным влиянием БУ на микробиологическую активность в компостируемом материале. При обсуждении механизма формирования устойчивых фракций ГК на ранних этапах гумификации нельзя исключать сорбцию новообразованных соединений непосредственно БУ, что может повышать устойчивость их к экстракции, а также роль БУ как материального источника образования ГК.

Помимо характеристики оптической плотности для оценки качества новообразованных соединений был использован анализ элементного состава. Независимо от вида растительного материала, все препараты отличались элементным составом, полностью соответствующим параметрам ГК. Оценивая результаты совместного компостирования реагентов и растительных остатков, следует отметить, что значительные изменения элементного состава ГК по сравнению с контрольными вариантами наблюдались только под влиянием БУ. У таких ГК отмечено повышение доли углерода, но снижение водорода в молекулах. По-видимому, данные изменения в элементном составе препаратов

вызваны пополнением ГК более гумифицированными, относительно химически зрелыми соединениями, что согласуется с результатами определения оптической плотности ГК, и может свидетельствовать о частичной перестройке углеродного скелета молекул ГК. Кроме того, следует отметить, что элементный состав исходного БУ сравнивался с составом новообразованных ГК, установлены существенные различия, что не дает оснований считать БУ материальным источником формирования ГК.

На основании изучения процессов гумификации растительных остатков с использованием $CaCO_3$ и БУ в качестве компонентов компостной смеси показана возможность образования ГК в формах, устойчивых к минерализационному действию микроорганизмов. Выявлен различный механизм образования гуматов кальция под влиянием $CaCO_3$ и БУ. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых видов органических удобрений с целью улучшения качества почвенного органического вещества, сохранения и воспроизводства плодородия, и, в целом, положительного воздействия на агроэкологическое состояние экосистем.

MECHANOCHEMISTRY OF HUMIC ORGANOMINERAL SYSTEMS: FROM REACTIVITY TO INTERFACIAL INTERACTIONS

Skripkina T.S.
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk
urazovatanya@mail.ru

Natural organomineral systems based on brown coals and plant wastes are hierarchically organized multicomponent solids comprising humic and other polyphenolic components along with a mineral fraction. Mechanical activation of such systems initiates coupled structural and chemical transformations in both the organic and mineral phases, accompanied by the redistribution of metals, including rare earth elements, and the formation of functional properties of the resulting materials. **The aim** of this work is to advance fundamental understanding of mechanochemical transformations in these systems, thereby enabling the development of approaches for the targeted modification of brown coals and plant feedstocks to produce sorbents, agrochemicals, bioactive preparations, and metal-enriched concentrates.

A range of natural organomineral systems based on brown coals of various origins, peat, and plant wastes (buckwheat husk) were investigated. To elucidate the influence of the mineral matrix on the mechanochemical transformations of polyphenolic components, natural polyphenols (lignin, melanin, humic substances) were additionally studied in isolated form. The employed methodological complex included elemental analysis (CHNS–O), FTIR spectroscopy with deconvolution, reverse potentiometric titration, EPR spectroscopy, powder X-ray diffraction, ICP–MS, and stripping voltammetry. Mechanochemical treatment was carried out in planetary and vibratory mills with variation of loading regimes, processing time, and the composition of solid-phase reagents.

It was established that mechanochemical oxidation results in changes in the functional composition (the ratio of phenolic, carboxyl, and carbonyl groups), the opening of internal regions of the polymer matrix, and the formation of new coordination sites, which govern the sorption, agrochemical, and bioactivity of the resulting materials. Regularities were revealed concerning the effects of bound and free water, degree of grinding, and loading regimes on the structure of the organomineral matrix and the energy efficiency of the process. It was shown that mechanochemical sample preparation using solid-phase reagents enables the selective transfer of a portion of rare and rare earth elements into the humic fraction, yielding metal-enriched concentrates. Based on mechanochemically treated brown coals and plant wastes, sorbents for the removal of heavy metal ions from water bodies, humic-containing preparations for soil remediation, and materials with pronounced antibacterial activity have been developed.

General regularities of mechanochemical solid-phase transformations in organomineral systems based on brown coal and plant wastes were formulated. Their applicability was demonstrated for substantiating resource-saving technologies for the production of functional polyphenolic materials and metal-enriched concentrates, as well as for ensuring the correct analytical monitoring of metal content in natural organomineral systems.

The presentation will demonstrate how the mechanochemical approach can be used to influence the structure and composition of organomineral systems at all levels – from molecular to interphase. We will discuss which processing parameters critically affect the distribution of metals, why humic acids and melanin exhibit different complexation capacities depending on the activation conditions, and how this knowledge can be harnessed to design sorbents with tailored properties. Particular attention will be devoted to the non-obvious effects observed upon varying moisture content and loading regimes – factors that often determine the success or failure of a technological solution.

The data obtained and the regularities formulated will be instrumental in substantiating resource-saving technologies for the production of sorbents, agrochemicals, and metal-enriched concentrates, as well as for ensuring reliable analytical control of metal contents in natural and technogenic organomineral systems.

This study was supported by the Russian Science Foundation (project no. 26-79-10335) https://rscf.ru/project/26-79-10335/

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ, ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ И ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРЕПАРАТОВ «ЛИГНОГУМАТ» МАРОК А И АМ

Холостов Г.Д.[1] Майорова И.А.[2]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет
[2]ФГБНУ "Институт экспериментальной медицины
kholostov14@mail.ru

Гуминовые вещества являются перспективными биостимуляторами для устойчивого земледелия. Гуминовый препарат Лигногумат, как продукт ускоренной гумификации растительного сырья, получаемого в процессе

переработки древесины – обладает регуляторными свойствами в отношении почвенной микробиоты. Однако выраженность и направленность его действия могут варьировать в зависимости от типа почвы и формы препарата.

Цель работы – оценить влияние двух марок Лигногумата - А и АМ - на ферментативную активность, базальное дыхание и численность микроорганизмов в трёх типах почв.

Объекты исследования: серая лесная (Ау), чернозём (Au) и пахотный чернозём (Au $_{пах}$). Препараты вносили в виде растворов (5 г/л, 5 мл готового раствора на 20 г почвы), инкубация – 7 суток при 22–25 °С. Контроль – NPK. В ходе исследования определяли активность каталазы, уреазы, инвертазы, протеазы и целлюлазы, базальное дыхание, численность культивируемых микроорганизмов (КОЕ), а также общую численность микроорганизмов методом прямого счета в камере Горяева.

Установлено, что Лигногумат стимулировал ферментативную активность во всех исследованных почвах, однако характер эффекта зависел от марки препарата. Лигногумат марки АМ чаще превосходил Лигногумат марки А по влиянию на активность гидролитических ферментов. Так, в пахотном чернозёме активность уреазы возрастала в 2,9–3,4 раза относительно NPK, а активность протеазы – в 3–4 раза.

Максимальное увеличение инвертазной активности отмечено в серой лесной почве при внесении лигногумата марки А: показатель составил 20,1 мг/г·сут против 11,9 мг/г·сут в контроле. Каталазная активность изменялась неоднозначно: в пахотном чернозёме Лигногумат марки АМ обеспечивал максимальное значение активности – 1,25, тогда как при внесении лигногумата марки А показатель был ниже контрольного уровня и составил 0,45

Интенсивность базального дыхания наиболее существенно возрастала в чернозёме при внесении Лигногумата марки АМ – в 3,1 раза относительно контроля. В пахотном чернозёме также отмечено увеличение показателя - в 3,5 раза. В серой лесной почве эффект был менее выраженным, при этом Лигногумат марки А обеспечивал более высокий уровень базального дыхания – 2127 г CO_2/кг в сутки – по сравнению с маркой АМ, для которой показатель составил 1455 г CO_2/кг в сутки.

При оценке численности микроорганизмов выявлено расхождение между результатами, полученными разными методами. По данным прямого счёта, в пахотном чернозёме Лигногумат марки АМ увеличивал общую численность микроорганизмов в 4,3 раза, а численность грибов (КОЕ) – почти в 10 раз.

В то же время численность культивируемых бактерий при внесении Лигногумата марки АМ снижалась относительно варианта с Лигногуматом марки А: в серой лесной почве – на 58%, в чернозёме – на 26%. Данное расхождение может указывать на переход части бактериального сообщества в некультивируемое, но жизнеспособное состояние (VBNC), либо на избирательную стимуляцию отдельных, в том числе олиготрофных групп микроорганизмов.

Таким образом, Лигногумат является эффективным регулятором ферментативной активности и биологической активности почв в целом, однако его действие имеет выраженную почвенно- и препарат-специфичность. Наиболее

заметный положительный эффект установлен в пахотном чернозёме, особенно при применении Лигногумата марки АМ.

Для достоверной оценки влияния гуминовых препаратов на почвенную микробиоту необходим комплексный подход, сочетающий культуральные методы и методы прямого учёта микроорганизмов, поскольку использование только показателя КОЕ может приводить к искажённой интерпретации результатов. Полученные данные обосновывают необходимость дифференцированного подхода к применению лигногумата с учётом типа почвы и конкретных агроэкологических условий.

СТРУКТУРНО-МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Поляков В.И, Низамутдинов Т.И., Абакумов Е.В.
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
v.polyakov@spbu.ru

Постагрогенная трансформация почв Северо-Запада России сопровождается существенным изменением их морфологического строения, запасов органического вещества, а также перестройкой структурно-молекулярной организации гуминовых веществ. Залежные почвы региона формируются в условиях высокой литологической и гидрологической неоднородности, что определяет разнонаправленный характер гумусообразования после прекращения агрогенного воздействия. По данным элементного анализа, а также 13C ЯМР-спектроскопии гуминовых кислот (ГК) установлено, что возраст залежи сам по себе не является единственным фактором, определяющим структурную перестройку молекулярного состава ГК. Направление трансформации во многом определяется литологическим составом почвообразующих пород, почвенным гидроморфизмом и сукцессионной сменой растительных сообществ. На ранних этапах перехода в залежное состояние происходит восстановление естественного растительного покрова и увеличение поступления растительных остатков в почву. В первые несколько лет после прекращения обработки, почвенное органическое вещество (ПОВ) находится в бывшем пахотном горизонте, где продолжаются процессы минерализации, гумификации и формирования органо-минеральных соединений. При увеличении времени нахождения в залежном состоянии и облесении территории возрастает роль лесной подстилки и накоплении грубогумусовых форм углерода, что приводит к увеличению валового содержания ПОВ и формированию, преимущественно, лабильного пула углерода.

Молекулярный состав ГК отражает смену предшественников гумификации и условия их трансформации. Для ГК залежных почв Северо-Запада России в целом характерно преобладание алифатических фрагментов. Вместе с тем в молодых и средневозрастных залежах может возрастать относительная доля ароматических структурных фрагментов ГК, что свидетельствует о конденсации продуктов трансформации растительных остатков. В залежных почвах,

формирующихся на подзолах иллювиально-железистых Ленинградской области максимальная доля ароматических фрагментов была отмечена в 40-летней залежи, до 34%, в 80- и 120-летних залежах она составляла соответственно 28 и 31%. Следовательно, динамика содержания ароматических структурных фрагментов ГК имеет нелинейный характер и определяется не только длительностью постагрогенной сукцессии, но и изменением состава растительного опада. В ГК почв залежных земель отмечается тенденция к увеличению содержания углерода и изменению обеспеченности азотом по мере развития постагрогенной сукцессии, так в ряде залежных почв содержание азота в ГК превышало таковое в фоновых аналогах. Наиболее контрастные пути трансформации выявлены в молодых залежах, где решающее значение имеют локальные условия почвообразования. При переувлажнении и развитии восстановительных процессов органическое вещество преимущественно депонируется, а ГК сохраняют черты исходных предшественников гумификации. В хорошо аэрируемых почвах на песчаных отложениях активизация биологического круговорота и поступление свежего растительного материала способствуют интенсивной трансформации органического вещества. Почвы молодых залежей под луговой растительностью характеризовалась максимальным запасом органического вещества и относительно высокой окисленностью ГК при значительной доле углеводных и алифатических фрагментов. Наиболее зрелые ГК выявлены в залежной почве, сформированной на карбонатных породах. Для них характерно максимальное содержание ароматических структурных фрагментов ГК, до 44%, повышенное содержание кислорода и карбоксильных групп, узкое отношение C/N 18,2 и низкая гидрофобность. Таким образом, постагрогенная эволюция залежных почв Северо-Запада России не сводится к линейному накоплению устойчивых форм углерода с возрастом залежи. На ранних стадиях сукцессии возможно формирование относительно устойчивых ароматических структур ГК, однако при последующем облесении и накоплении свежего подстилочного материала возрастает доля лабильных компонентов. Увеличение почвенного гидроморфизма способствует депонированию органического вещества, но замедляет его конденсацию, однако наличие карбонатов в почвообразующих породах и хорошая аэрация, напротив, обеспечивают формирование наиболее зрелых и окисленных ГК.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 26-16-20034 (соглашение с РНФ от 12.05.2026, соглашение с СПбНФ от 10.06.2026).

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА В ПОЧВОГРУНТАХ НАМЫВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ИХ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Дьячковский Р.А., Чебыкина Е.Ю.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
r.dyachkovskiy@spbu.ru

Введение.

Органический углерод является одним из ключевых компонентов функционирования почв. В городских экосистемах его содержание и запасы характеризуются значительной пространственной неоднородностью и зависят от характера антропогенного воздействия [1–2]. Особенно специфичны грунты искусственно сформированных намывных территорий. Изучение содержания углерода в сочетании с показателями биологической активности позволяет оценить особенности формирования и функционирования почвогрунтов намывных территорий Санкт-Петербурга [3].

Объекты и методы исследований.

Объекты исследования – три намывные территории Санкт-Петербурга: Южно-Приморский парк (ЮПП), Василеостровский намыв (ВН) и парк 300-летия Санкт-Петербурга (П300). Исследования проводились в период 2022-2024 гг. Биологическую активность оценивали по базальному дыханию (БД) в необогащенной субстратом почве [4]. В пробах определяли pH, гигроскопическую влажность, плотность твёрдой фазы, содержание $C_{общ}$ и $N_{общ}$. Определение $C_{общ}$ и $N_{общ}$ проводили на элементном анализаторе LECO TruSpec MICRO в Ресурсном центре Научного парка СПбГУ «Методы анализа состава вещества».

Обсуждение результатов.

Среднее содержание $C_{общ}$ в грунтах ЮПП и П300 составило – 3-4% и 3,7-7,29% соответственно, тогда как на ВН в поверхностных горизонтах оно составляло – 0,14-2,6%. Выраженная неоднородность содержания углерода характерна для городских и техногенных почв и обусловлена различиями в составе исходного материала, и степени развития почвенного профиля [5]. Отношение C/N характеризуется низким значением, что может указывать на относительно высокую обеспеченность органического вещества азотом и его интенсивную трансформацию. Наиболее низкая биологическая активность отмечена на ВН, где в большинстве точек почвогрунты представлены песками и супесями с низкой влажностью и слабым развитием почвенного покрова. Положительная связь БД с содержанием общего углерода и гигроскопической влажностью указывает на увеличение микробной активности по мере накопления органического вещества и формирования почвенного профиля. Отрицательная корреляция БД с pH в П300 и ЮПП может быть связана с различиями в структуре и активности микробного сообщества. На ЮПП снижение базального дыхания при увеличении плотности твёрдой фазы, вероятно, связано с уменьшением порового пространства и ухудшением условий аэрации.

Выводы.

Установленные взаимосвязи характеризуют базальное дыхание как показатель, чувствительный к степени формирования и свойствам почвогрунтов намывных территорий. Можно сделать вывод, что чем моложе территория намыва – тем меньше содержание углерода, при достаточно высоком содержании азота. Совместная оценка содержания органического углерода и БД позволяет дополнительно характеризовать процессы накопления и биологической трансформации органического вещества на ранних этапах почвообразования.

Работа выполнена при поддержке РНФ № 26-16-20034, соглашение с РНФ от 12.05.2026 и договор с СПбНФ от 10.06.2026.

Список использованных источников

1. Wei Z.-Q., Wu S.-H., Zhou S.-L. et al. Soil Organic Carbon Transformation and Related Properties in Urban Soil Under Impervious Surfaces // Pedosphere. – 2014. – Vol. 24. – No. 1. – P. 56–64.
2. Chien S.-C., Krumins J.A. Natural versus urban global soil organic carbon stocks: A meta-analysis // Science of the Total Environment. – 2022. –Vol. 807. – ID. 150999.
3. Дьячковский Р. А., Чебыкина Е. Ю. Биологическая активность почвогрунтов намывных территорий Санкт-Петербурга // Здоровые почвы – гарант устойчивого развития: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Курск, 16–17 апреля 2025 года. Курск: Курский государственный университет, 2025. – С. 37–38.
4. Bloem J., Hopkins D.W., Benedetti A. Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. – CABI: Wallingford, UK. – 2005.
5. Allory V., Séré G., Ouvrard S. A meta-analysis of carbon content and stocks in Technosols and identification of the main governing factors // European Journal of Soil Science. – 2022. – Vol. 73. – No. 1. – ID. e13141.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГУМУСА БОЛОТНЫХ СОЛОНЧАКОВ

Юлдашев Г., Хакимжонова Н., Исагалиев М.Т.
Ферганский государственный университет, г. Фергана
gulyam48@mail.ru

Одним из ключевых компонентов почвенного органического вещества является гумус, который выступает не только как резерв органического углерода, но и как важнейший носитель энергетического потенциала почвы. В болотных солончаках, формирующихся в условиях избыточного увлажнения и жаркого климата при одновременном засолении, процессы гумусообразование и его трансформации приобретают специфический характер, что обусловливает необходимость комплексного анализа их биоэнергетического состояния. В болотных солончаках аридной зоны энергетическое состояние гумуса определяется сочетанием гидроморфных и засоленных условий.

Энергетическое состояние гумуса в таких почвах может быть охарактеризовано через соотношение гуминовых и фульвокислот, степень окисленности органических соединений. Преобладание фульвокислот в болотных солончаках свидетельствует о менее стабильном и более энергоемком состоянии органического вещества, тогда как доминирование гуминовых кислот указывает на более конденсированную и энергетически устойчивую форму гумуса. В условиях болотных солончаков данные процессы осложняются влиянием солевого стресса. Термодинамика гумуса рассматривается как метастабильная форма органического вещества, обладающая определенным энергетическим потенциалом. Однако в гидроморфных засоленных условиях этот процесс замедляется, что приводит к аккумуляции энергетически незрелых форм гумуса. Это, в свою очередь, влияет на общую биопродуктивность и устойчивость экосистем.

Таким образом, биоэнергетический потенциал и запас гумуса в болотных солончаках являются результатам сложного взаимодействия климатических, мелиоративных и биогеохимических факторов.

Объектом исследования являются почвы аридных и экстрааридных регионов Центральной Ферганы Ферганской области республики Узбекистан. Почвы, которые соответствуют аридным и крайне аридным болотным засоленным почвам пустынь, по климатическим показателям американской классификации относится к аридисолям. Согласно схеме классификации почв Узбекистана к подтипу болотных солончаков аллювиально-сазового режима пустынной зоны. Объект расположен в одном ярусе геохимического ландшафта. Полевые и лабораторные исследования проведены на основе общепринятых в почвоведение стандартных методов. Результаты анализа распределения гумуса и биоэнергетического потенциала в пределах геохимического ландшафта показывает выраженную зависимость между геохимическим положением почвенного профиля и интенсивностью гумусонакопления. В элювиально-аккумулятивных условиях (разрез 5а) наблюдается относительно умеренное содержание гумуса в верхнем горизонте (5,53%) с постепенным снижением до 3,32% в горизонте 20-50 см.

Общий запас гумуса в слое 0-50 см составляет 283,77 т/га, что отражает средний уровень аккумуляции органического вещества. Энергетическое состояние гумуса характеризуется суммарным значением 227,29 кДж/г, что указывает на стабильное, но не максимальное накопление биохимической энергии в гумусовой системе. Соотношение биоэнергетического потенциала (БЭП) гуминовых и фульвокислот свидетельствует о преобладании гуминовой фракции, что указывает на более устойчивый тип гумуса. Наиболее высокие показатели гумусонакопления и энергетического состояния отмечены в супераквальных аккумулятивных условиях (разрез 5в). Здесь содержание гумуса достигает 6,33% в верхнем горизонте, а общий запас возрастает до 341,81 т/га.

Энергетическая емкость системы (176,79 кДж/г в суммарном выражении) указывает на высокую активность органоминеральных процессов при одновременном накоплении значительных объемов органического вещества. Относительно повышенные значения биоэнергетического потенциала гуминовых кислот (1,82) по сравнению с другими разрезами отражают более интенсивное

гумифицирование в условиях избыточного увлажнения. Пространственная дифференциация элементарных ландшафтов существенно влияет на запасы гумуса и его энергетическое состояние. Максимальные значения гумусонакопления (341,81 т/га) и повышенное содержание гумуса (6,33%) зафиксированы в супераквальных условиях. Элювиально- и трансэлювиально-аккумулятивные ландшафты характеризуются более низкими запасами гумуса и сниженным биоэнергетическим потенциалом.

В целом энергетическое состояние гумуса тесно связано с соотношением гуминовых и фульвокислот преобладание гуминовых кислот повышает устойчивость и энергетическую насыщенность гумусовой системы. Гидрологический режим и геохимическая позиция ландшафта являются ключевыми факторами формирования гумусового и энергетического и биоэнергетического потенциала баланса почв.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В ИННОКТИВАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Василевич Р.С., Лодыгин Е.Д.
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
vasilevich.r.s@ib.komisc.ru

Накопление и мобилизация потенциально токсичных элементов (ПТЭ) в торфяных экосистемах представляет серьезную экологическую проблему и создают риски состоянию окружающей среды северных широт. Основной пул ПТЭ аккумулируется в органогенных слоях торфяников, прочно ассоциируясь с почвенным органическим веществом. Ключевую роль в этом процессе играют гуминовые кислоты (ГК). Специфические физико-химические условия торфяных почв, включая параметры, влияющие на свойства ГК и термодинамические условия их взаимодействия с ПТЭ, могут играть решающую роль в закономерностях профильного распределения этих элементов и общей экологической ситуации. Различия в химической структуре ГК, обусловленные содержанием реакционноспособных функциональных групп (карбоксильных, фенольных, амино-, тиольных), оказывают существенное влияние на их сорбционную емкость и, как следствие, на эффективность связывания ПТЭ. Цель работы оценить геохимическую роль ГК в аккумуляции ПТЭ в торфяных почвах, определяемую особенностями их функционального состава, исходя из актуального содержания ПТЭ и на основе модельных сорбционных экспериментов.

Объектом исследования служили геохимические профили зонального ряда торфяных почв от северной тундры до северной тайги. В качестве основных типов почв были выбраны торфяные олиготрофные (мерзлотные) почвы (бугров) (Hemic Folic Cryic Histosols) и торфяные олиготрофные (мерзлотные) почвы (мочажин) (Fibric Floatic Histosols), характеризующиеся существенными различиями в степени разложения органического вещества и морфологических

особенностях. Препараты ГК выделяли по методике IHSS. Модельные сорбционные эксперименты проводились с использованием растворов ионов Hg2+, Pb2+ и Cd2+.

В результате исследований установлено, что профильное распределение ПТЭ в значительной степени обусловлено содержанием ГК, что подтверждается статистическими методами. В торфяных почвах бугристых болот верхний уровень накопления микроэлементов приурочен к сезонно-талому слою (СТС) с высоким содержанием ГК. Для торфяных почв мочажин, характеризующихся низкой степенью разложения торфа, отмечается повышенное содержание ПТЭ и ГК в поверхностных горизонтах. Характер накопления и миграции элементов в СТС определяется устойчивостью соответствующих гуматов тяжелых металлов. В условиях повышенной кислотности, в восстановительных условиях ПТЭ обладают достаточно высокой подвижностью, мигрируя до нижней границы СТС, о чем свидетельствуют увеличение доли водорастворимых форм ряда элементов.

Полученные данные по комплексообразованию обосновывают геохимическую дифференциацию стратифицированного распределения ПТЭ в арктических торфяниках. Структурно-функциональный состав определяет сорбционную емкость ГК к ПТЭ. Показана относительно высокая сорбционная емкость препаратов ГК к исследованным ионам в модельных экспериментах из слоев торфа СТС и на границе многолетней мерзлоты, и более низкая с образцами из реликтовых слоев, что соответствует распределению элементов в соответствующих торфяных горизонтах. Результаты указывают на значительную миграционную способность ионов Cd2+, в результате таяния многолетнемерзлых пород и возможность поступления ПТЭ (с низкой химической аффинностью к ГК) в гидрологическую сеть территории в условиях потепления климата и деградации торфяников высоких широт. Более высокая сорбционная способность ионов Hg2+ и Pb2+ по отношению к ГК способствует их накоплению в поверхностных горизонтах арктических торфяных почв.

Работа выполнена при поддержке бюджетной темы Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 125021902454-1.

ЛАБИЛЬНОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ БУРОЗЕМОВ И СВЕТЛО-ОХРИСТОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ПОЧВЫ КАЛЬДЕРЫ ВУЛКАНА ГОЛОВНИНА, О. КУНАШИР

Зверева А.В., Розанова М.С.
МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва,
annazvereva.2002@mail.ru

Почвы о. Кунашир формируются в специфических природных условиях влажного муссонного климата, активного вулканизма и высокой продуктивности растительных сообществ. Это определяет особенности поступления, накопления и трансформации почвенного органического вещества (ПОВ). Одним из наиболее

быстро реагирующих показателей, отражающих состояние ПОВ являются содержание лабильных фракций ПОВ и ферментативная активность. В связи с этим изучение этих характеристик представляет интерес для понимания особенностей круговорота углерода и функционирования почв о.Кунашир.

Цель работы – оценить влияние лабильного органического вещества (ЛОВ) на ферментативную активность (ФА) гумусовых горизонтов буроземов кальдеры вулкана Головнина (о. Кунашир). Исследованы три бурозема тёмногумусовых, бурозем грубогумусированный и светло-охристая вулканическая почва. Были определены следующие показатели: содержание органического углерода (Сорг) – методом Тюрина, углерода водорастворимых органических веществ (Свов) – в последовательных вытяжках по Ghani et al. (2003) и лабильных гумусовых веществ (Слгв) и лабильных гуминовых кислот (Слгк) – в пирофосфатной вытяжке с pH 7 после предварительного компостирования. ФА определяли для каталазы и инвертазы общепринятыми методами.

Установлена значительная внутрипрофильная и межпрофильная вариабельность содержания ПОВ и его лабильных фракций. Содержание Сорг в изученных почвах в целом изменялось согласованно с содержанием Слгв. Наиболее высокие значения Сорг и Слгв отмечались в отдельных горизонтах тёмногумусовых и грубогумусированного буроземов. Повышение Сорг в средней части некоторых профилей буроземов связано с наличием погребённых гумусовых и грубогумусовых горизонтов. Светло-охристая вулканическая почва отличалась более низким содержанием как Сорг, так и Слгв и Слгк. При этом отмечено повышение относительного содержания Свов при пониженном содержании Сорг. На этом фоне ФА также характеризовалась выраженной профильной неоднородностью. В грубогумусированном буроземе и светло-охристой вулканической почве наблюдалась тенденция к увеличению каталазной активности вниз по профилю, в том числе в погребённых и грубогумусовых горизонтах. Активность инвертазы в исследованных почвах соответствовала преимущественно средней и высокой степени обогащённости почв ферментом, свидетельствуя об активном гидролитическом разложении углеводных компонентов ПОВ. Данные об инвертазной активности почв о. Кунашир получены впервые. При анализе взаимосвязи между относительным содержанием Слгв (Слгв/Сорг) и активностью каталазы для буроземов выявлена отрицательная линейная зависимость. Для тёмногумусовых буроземов коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,72$. Для всех исследованных буроземов зависимость сохраняла отрицательный характер, однако коэффициент снижался до $R^2 = 0,56$. Полученные данные показывают, что абсолютное и относительное содержание лабильных форм ПОВ связаны с ФА, однако характер этой связи определяется не только обеспеченностью доступным углеродом, но и комплексом свойств конкретных почвенных горизонтов. Таким образом, буроземы кальдеры вулкана Головнина характеризуются значительной дифференциацией содержания Сорг, его лабильных фракций и ферментативной активности по профилю. Отношение содержания Слгв к Сорг может рассматриваться как один из информативных показателей биохимического состояния буроземов. Вместе с тем его использование в качестве универсального предиктора ферментативной активности ограничено многофакторным характером регуляции почвенных биохимических процессов.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ГУМИФИКАЦИИ ВОДОРАСТВОРИМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ КОМПОСТИРОВАНИИ ОТХОДОВ ЦБК

[1] О.С., [2]Пацаева С.В., [2]Соколовская Ю.Г., [1]Степанов А.А., [1]Смольский Е.Ю., [1]Сериков К.П., [1]Терехова В.А.
[1]Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва,
[2]Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва
iakim@soil.msu.ru

Биоконверсия органических отходов способствует не только снижению их объемов, но и вовлекает низкосортное сырье для получения вторичных ресурсов. Продукты биоконверсии (в частности, компосты) повышают содержание гумуса, улучшают водоудерживающую способность и аэрацию почв, стимулируют деятельность почвенного микробного сообщества и в конечном итоге способствуют повышению устойчивости агросистем за счёт снижения зависимости от внешних ресурсов.

В данном исследовании компостированию подвергали два вида отходов ЦБК – бумагу и опилки, используя два способа: с применением культуры дождевых червей (вермикомпостирование ВК) и с применением микробных препаратов (микробное компостирование; МК). В отдельных вариантах опыта бумагу или опилки дополнительно пропитывали раствором технического лигносульфоната (ЛС). В вариантах с ВК в качестве основы использовали универсальный вермигрунт и культуру червей *Eisenia fetida Andrei.* В вариантах с МК компостируемые отходы обрабатывали раствором карбамида и микробиологическим препаратом «Стерня-12». Через 30 и 60 дней после начала эксперимента оценивали качество компостов и трансформацию органического вещества (ОВ), используя спектральные методы. Цель исследования – сравнить дескриптивную способность спектральных признаков гумификации по сравнению с традиционными химическими показателями (C/N и Сгк/Собщ).

Для спектральных анализов использовали водные вытяжки из компостов, профильтрованные через нейлоновые фильтры с размером пор 0,22 мкм. Спектры поглощения измеряли в кварцевых кюветах с длиной оптического пути 1 см с помощью спектрофотометра Solar PB2201 относительно дистиллированной воды в спектральном диапазоне 200-700 нм. Рассматривали следующие показатели: оптическую плотность D_{350} (пропорциональна содержанию ОВ), также индексы: E4/E6 (характеризует «зрелость» компоста: чем ниже, тем больше высокомолекулярных соединений); D_{280}/D_{465} (соотношение между лигниновыми фрагментами и продуктами начала гумификации), D_{270}/D_{400} (доля фенольных/хиноидных ядер и более простых карбоксильных ароматических соединений) и D_{255}/D_{220} (степень замещения ароматических колец и присутствия алифатических групп).

Все рассчитанные индексы дают важную информацию о ходе гумификации лигноцеллюлозных отходов. У исходных субстратов индекс D_{255}/D_{220} близок и составляет 0,25-0,33; по мере созревания компостов возрастает примерно в 2 раза. С увеличением длительности компостирования во всех вариантах опыта

увеличивается D_{350}, что свидетельствует об образовании гуминовых веществ. Зрелость компоста оценивали по совокупности 2х признаков: рост D_{350} и снижение E_4/E_6. или D_{300}/D_{350} Такая комбинация наблюдалась при обоих режимах компостирования только в компостах из опилок. В компостах из бумаги не снижался индекс Е4/Е6, показывая, что ОВ недостаточно обогащено высокомолекулярными гуминовыми веществами. Аналогичная ситуация показана и при рассмотрении индекса D_{300}/D_{350} .

На основании полученных спектральных признаков гумификации водорастворимого ОВ отходов возможно выбрать наиболее перспективный субстрат и способ его компостирования. Таким образом, экспрессный спектральный метод можно рассматривать как альтернативу трудоемким классическим химическим анализам для оценки эффективности процесса компостирования.

Исследование выполнено в рамках проекта компании «Тайга Групп».

ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНО-ПЛЕНОЧНОГО КАРКАСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИССКУСТВЕННОГО ОРГАНОГЕННОГО СЛОЯ

Мазурик Д.И.
Высшая школа технологии и энергетики, г.Санкт-Петербург
mazurikdi@mail.ru

Интенсивные процессы деградации почв, вызванные масштабной хозяйственной деятельностью, приводят к снижению продуктивности экосистем, а скорость антропогенного истощения почвы преобладает над скоростью её самовосстановления. Техногенно нарушенные территории посредством ландшафтообразующих факторов постепенно трансформируются в естественный биотоп, но даже после работ по восстановлению почвенно-растительных комплексов возникают проблемы формирования устойчивой системы с естественными функциями. Успешная рекультивация территории основывается на оптимизации почвенных режимов и устранении дефицита органического вещества. На сегодняшний день решения в области восстановления территорий сосредоточенны на технологиях внесения органических субстратов (осадки сточных вод, отходы промышленности и тд.), однако этот подход не воспроизводит циклическую природу почвообразования, характерной для нарушенных ландшафтов. Перспективным решением является формирование искусственных органогенных слоёв (ИОС) – целенаправленно конструируемых почвенных тел с заданными свойствами, где ключевым управляемым параметром становится контролируемая гумификация органических композиций. Лесопромышленный комплекс (ЛК), являясь одновременно потребителем лесных ресурсов и генератором органических отходов, представляет особый интерес как источник сырья для формирования ИОС.

Целью данной работы являлась оценка возможности формирования органо-пленочного каркаса системы ИОС на песчаном субстрате с органо-минеральной

границей раздела. В качестве источника органической составляющей были использованы модельные системы сточных вод древесно-подготовительного цеха преимущественно хвойных пород. Водорастворимая фракция экстрактивных веществ хвойной древесины представлена преимущественно полифенольными соединениями (конденсированные таннины, флавоноиды), водорастворимыми полисахаридами и продуктами гидролиза гемицеллюлоз. В качестве минеральной матрицы бы используется кварцевый песок фракции 0,5–2 мм, который часто применяется в системе рекультивации и обслуживания урбанизированных территорий.

Закрепление органической композиции исследовали в статических и динамических условиях. В статических условиях методом периодического равновесия определяли адсорбционную емкость минеральной матрицы по параметрам изменения цветности растворов, используемых для модификации поверхности. Рабочие растворы готовили путем разбавления исходного экстракта, с содержанием сухой органики 9700 мг/л, дистиллированной водой. Основные процессы рассматривались в диапазоне pH 5,8-6,8, что соответствует нормативным параметрам для сброса в водные объекты. Кинетические испытания показали, что адсорбционное равновесие достигается в течение 12-24 часов. Максимальная статическая емкость песка фракции 0,1-0,5 мм составила 1,12 мг/г, для фракции 0,5-1 мм – 1,09 мг/г и фракции 1-2 мм – 0,94 мг/г (для 40%-го рабочего раствора). Для модельного раствора в процессе модификации было отмечено снижение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) с 142 до 94 мВ, а также сдвиг ионного баланса жидкой фазы в сторону поступления щелочных компонентов из сорбционной матрицы. Физико-химические изменения, с учетом сорбционного гистерезиса при проведении процесса десорбции, подтверждают необратимый хемосорбционный характер взаимодействий на органо-минеральной границе раздела фаз.

Таким образом, полученные предварительные результаты подтверждают принципиальную возможность формирования органо-плёночного каркаса на песчаной матрице как первого этапа модульной органогенной барьерной системы. Дальнейшие исследования направлены на наращивание биослоя за счёт растительного компонента и развитие гумификационных процессов.

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗВЕСТИ И БИОУГЛЯ В АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Орлова Е.Е., Виноградова К.А., Сюй Ш., Леонтьев А.А.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
orlova55@mail.ru

В современных условиях поддержание уровня органического вещества и повышение гумуссированности почв становятся важными факторами обеспечения продовольственной безопасности. В связи с этим поиск эффективных мелиорантов, способных одновременно нейтрализовать почвенную

кислотность и стабилизировать органическое вещество (ОВ) почвы, представляет собой актуальную задачу современного агропочвоведения.

Для устранения кислотности почвы и ее негативного воздействия на агроценозы традиционно используются известковые материалы. Однако известкование помимо положительных свойств, связанных с устранением почвенной кислотности, сопровождается рядом негативных агроэкологических последствий – многие питательные вещества переходят в труднорастворимые формы, увеличивается количество нитратов, снижается подвижность микроэлементов (железа, марганца, цинка), а также наблюдаются непродуктивные потери вносимого кальция. Одним из перспективных альтернативных мелиорантов является биоуголь (БУ), получаемый путем пиролиза растительной биомассы в инертной атмосфере. БУ обладает высокой удельной поверхностью, пористостью и устойчивостью к биохимическому разложению. Его щелочная реакция обусловлена высоким содержанием карбонатов кальция и магния, что позволяет ему выступать и в качестве кислото-нейтрализующего мелиоранта.

Известкование оказывает многоплановое влияние гумусовое состояние дерново-подзолистых почв. Основной эффект заключается в перераспределении фракций гумусовых веществ (ГВ). В длительных полевых опытах на дерново-подзолистых почвах показано, что оптимизация реакции среды способна замедлить ежегодные потери гумуса примерно на 16%. Однако, высокие значения pH могут спровоцировать и обратный процесс – разложение ОВ и ускоренную дегумификацию. Влияние БУ на трансформацию ОВ также носит двойственный характер. С одной стороны, внесение БУ часто вызывает резкое усиление активности почвенной микрофлоры, что ведет к ускоренной минерализации гумуса почв. Потери гумуса в слабогумусированных агродерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава при внесении в них БУ могут достигать 20%. С другой стороны, под воздействием БУ наблюдается интенсификация процессов гумификации ОВ (углубление химической зрелости, новообразование гуминовых кислот, формирование фракций с повышенной степенью ароматичности более устойчивых к микробиологической трансформации). Отмеченные особенности являются несомненными признаками увеличения стабилизации системы ГВ.

В модельных экспериментах на образцах агродерново-подзолистых почв Ленинградской области показано, что совместное применение извести и БУ дает синергетический эффект, превосходящий раздельное использование кислото-нейтрализующих мелиорантов. Синергия компонентов позволяет снизить общее количество вносимой извести до 0.05-0.1% без потери мелиоративного эффекта, что минимизирует экологические и экономические риски от вымывания кальция. Известь, предположительно, уменьшает «прайминг-эффект» БУ, замедляя процессы минерализации. А ионы кальция, поступающие в почву, как из извести, так и из БУ, вступают в обменные реакции с кислыми функциональными группами новообразованных гуминовых кислот. Это формирует прочные органоминеральные комплексы, повышая устойчивость всей системы ГВ в целом. Применение извести и БУ принципиально различается по механизму воздействия на ГВ почв. Действие извести основано на физико-химической перегруппировке

существующих молекул гумуса без изменения их базовой структуры, тогда как БУ изменяет процессы гумификации, при этом увеличивается глубина гумификации и возрастает степень ароматизации новообразованных соединений.

Дальнейшее изучение этих процессов необходимо для разработки региональных рекомендаций по экологически безопасному применению комплексных кислото-нейтрализующих мелиорантов, регулированию ОВ в агроэкосистемах и повышению устойчивости земледелия Российской Федерации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-26-00165 «Оптимизация роста и питания растений в кислых почвах с использованием новых видов кислото-нейтрализующих мелиорантов на основе биоугля».

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ВАСИЛЕОСТРОВСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Сюй Ш., Орлова Е.Е., Чуков С.Н.
Санкт-Петербургский государственный университет
xushaohui1998@icloud.com

Урбанизация представляет собой одну из основных тенденций изменения современного землепользования в общественном развитии. Показатели гумусного профиля служат показателей не только почвенного плодородия, но и общего состояния системы «почва – растительность», что приобретает особую значимость и необходимость при изучении состояния городских почв.

Цель настоящего исследования – оценить особенности гумусового состояния почв четырех функциональных зон Васильевского острова.

Объекты и методы исследования. В начале вегетационного периода на территории Василеостровского района (ВО) было заложено 16 пробных площадок, относящихся к четырём функциональным зонам: транспортно-магистральной (ТМЗ), промышленной (ПМЗ), селитебной (СЛЗ) и парково-рекреационной (ПРЗ). Почвенные пробы отбирали из слоя 0–20 см; смешанный образец составляли из 10–15 точечных проб. Для характеристики гумусового состояния определяли следующий набор показателей: содержание общего органического углерода и азота – методом сухого сжигания на CHN-анализаторе LECO, содержание водорастворимого углерода (по Шульц-Кершенсу), состав гумусовых веществ (ГВ) с использованием двух вытяжек 0.1 М NaOH и 0.1 М $Na_4P_2O_7$, оптическая плотность гумусовых веществ (по Плотниковой-Пономаревой) [3,4].

Результаты и обсуждение. Проведенное исследование показано, что в изученных городских почвах характерно повышенное содержание общего углерода ($C_{общ.}$) – варьировало от 2,0 до 8,7%, что типично для урбанизированных территорий [1]. Повышенные значения $C_{общ.}$ в почвах ТМЗ и ПМЗ возможно связаны с поступлением техногенных органических поллютантов (нефтепродукты, сажа, асфальтовая пыль), а в почвах парков– с регулярным внесением удобрений и растительным опадом [2].

Установлено, что все почвы характеризуются низким содержанием водорастворимого углерода (от 0,04 до 0,45% к $C_{общ.}$), что свидетельствует о замедлении процессов минерализации и биологического круговорота под антропогенными нагрузками. Состав гумуса отличался значительной вариабельностью. Определены три типа гумуса в изученных городских почвах: гуматный (18,8% проб), фульватно-гуматный (50%) и гуматно-фульватный (31,3%). Отношение Сгк/Сфк колебалось от 0,6 до 2,4 (табл.1). В большинстве проб отмечено преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами, что обычно нехарактерно для зональных дерново-подзолистых почв (Сгк/Сфк <1) и указывает на изменение условий гумусообразования. Показатель обогащенности азотом (C/N) варьировал от 7,7 до 22,6.Во всех почвах отмечена аномально высокая доля негидролизуемого остатка (НО) – от 65 до 89% , что вероятно, обусловлено накоплением трудноокисляемых углеродистых частиц, сажи и углеводородов техногенного происхождения.

Заключение. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Почвы исследованных функциональных зон В.О. существенно отличались от зональных аналогов повышенным содержанием общего углерода, изменением типа гумуса и высокой долей негидролизуемого остатка, что подтверждает значительное изменение условия гумусообразования под влиянием урбанизации. Выявлена высокая пространственная вариабельность показателей как между функциональными зонами, так и внутри них, что обусловлено не столько различиями в процессах гумификации, сколько неоднородностью источников поступления органического вещества (техногенные выбросы, бытовые отходы, удобрения, растительный опад).

Список использованной литературы

1. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Гумусовые горизонты почв урбоэкосистем // Почвоведение. –2018. –№ 9. – С. 1071–1084.
2. Гончарова О.Ю., Семенюк О.В., Матышак Г.В. Биологическая активность городских почв: пространственная вариабельность и определяющие факторы // Почвоведение. – 2022. – № 8. – С. 1009–1022.
3. Орлова Е.Е., Банкина Т.А., Орлова Н.Е., Лабутова Н.М., Банкин М.П., Якконен Л.К. Практикум по агроэкологии. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2011. – 148 с.
4. Орлова Н.Е., Бакина Л.Г., Орлова Е.Е. Методы изучения органического вещества почв. –СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. – 143 с.

ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВ ОСТРОВА ВАЛААМ: МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА (^{13}C-ЯМР, ЭПР) И СВЯЗЫВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Русаков Г.А.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, e-mail: RusakovGEO1@yandex.ru

Введение. Остров Валаам – удалённая от крупных техногенных источников территория с контрастными почвообразующими породами (габбро-долериты, монцониты, озёрно-ледниковые глины и пески) и высоким содержанием железа в почвах. Это удобная модель для оценки того, как гранулометрический состав и геохимический фон влияют на строение гумусовых кислот и их способность удерживать микроэлементы. Мы опирались на подход С. Н. Чукова [1–3], в котором строение гуминовых веществ оценивается по ароматичности (^{13}C-ЯМР) и концентрации свободных радикалов (СР, ЭПР); сходные исследования выполнены для почв Арктики, Антарктики и европейского Северо-Востока [3–5]. Для почв Валаама такие данные ограничены.

Объекты и методы. Изучены гумусовые горизонты шести почв: серо-гумусовой глеевой (AY1, AY2; пробы 10, 11), агрозёма постагрогенного (Апах; 21), органо-ржавозёма грубогумусового на монците (Оао; 12), подбура иллювиально-гумусово-железистого (А; 13) и ржавозёма грубогумусового (AY; 22) на габбро-долерите. Гуминовые (ГК) и фульвокислоты (ФК) выделены по методике [2]; для удаления Fe, заглушающего спектры, препараты многократно промывали 0,1 н HF. Применены твердофазный ^{13}C-ЯМР (Tecmag Redstone), ЭПР (Bruker Elexsys E580; сигналы с g ≈ 2,003, 4,3 и 2,11), CHN-анализ ELAN-DRC-e (Perkin Elmer) и Shimadzu EDX-800HS2. В почвах и препаратах определены оксиды и микроэлементы (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Pb), рассчитаны их корреляции с ЯМР- и ЭПР-параметрами. Данные по микроэлементам и полуторным оксидам получены в центральной лаборатории Института Карпинского.

Результаты и обсуждение. По данным ЯМР, ГК значительно ароматичнее ФК: доля ароматических С (160–110 м.д.) составляет 23–49 % против 5–14 %, тогда как в ФК выше доля карбоксильных С (190–160 м.д.: 18–30 % против 10–26 %) и атомное отношение O:C (1,1–1,6 против 0,6–0,7). Наиболее ароматичны ГК суглинистых серо-гумусовых глеевых почв (38–49 %), наименее – ГК песчаного агрозёма и супесчаного органо-ржавозёма (23–25 %), т. е. различие составляет 1,5–2 раза. Количество СР в ГК ($0,6–2,1\cdot10^{15}$) в четырёх пробах из шести в 4–5 раз выше, чем в ФК ($3,3–7,3\cdot10^{14}$), g-фактор ГК (2,0036–2,0039) ниже, чем у ФК (2,0043–2,0048); в ржавоземе на габбро-долерите СР в ГК и ФК практически не различаются. Количество СР тесно связано с ароматичностью ($r = 0,84$; $n = 12$; $p < 0,01$).

От содержания в почве в ГК переходит: Cu 1,9–18,0 %, Sc 1,2–13,7 %, Cr 0,1–13,9 %, Pb 0,4–11,5 %, P_2O_5 3,7–18,2 %; для V, Sr и Y – менее 1 %, для Fe_2O_3 – не более 1,5 % при содержании Fe в почвах 2,4–7,2 %. Таким образом, значительная часть железа не входит в состав ГК, а набор концентрируемых

микроэлементов (Cu, Sc, Cr, Pb) отличается от геохимического спектра почв. В ряде проб в ФК относительно выше доля Ni (до 9,4 %) и Zn. Содержание Cu, V, Zr, Y, Cr и Sc в ГК положительно связано с g-фактором (r = 0,77–0,88), а g-фактор – отрицательно с ароматичностью (r = –0,83). Содержание Cu и Cr в ГК обратно коррелирует с долей ароматических С (r до –0,78) и прямо – с долей карбоксильных (Cr: 0,76), что согласуется с участием карбоксильных групп в связывании металлов (n = 6; значимо при $|r| \geq 0{,}81$). Данные по микроэлементам и оксидам переведены из расчёта на навеску 300 г почвы использованной для выделения препаратов ГК и ФК.

Выводы. 1) Строение ГК и ФК почв Валаама контролируется гранулометрическим составом: ароматичность ГК в суглинистых почвах в 1,5–2 раза выше, чем в лёгких. 2) Парамагнитные свойства ГК определяются степенью ароматичности. 3) ГК избирательно концентрируют Cu, Sc, Cr и Pb (до 18 % их содержания в почве), а связь микроэлементов с ЯМР- и ЭПР-параметрами указывает на роль карбоксильных групп. 4) Данные служат основой для оценки роли гуминовых веществ в миграции микроэлементов в фоновых почвах острова.

Список использованных источников

1. Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. – 216 с.

2. Чуков С.Н., Лодыгин Е.Д., Абакумов Е.В. Использование ^{13}C ЯМР-спектроскопии в исследовании органического вещества почв (обзор) // Почвоведение. – 2018. – № 8. – С. 952–964.

3. Лодыгин Е. Д., Безносиков В. А., Василевич Р. С. Парамагнитные свойства гумусовых веществ таежных и тундровых почв европейского Северо-Востока России // Почвоведение. – 2018. – № 8. – С. 985–993.

4. Abakumov E., Lodygin E., Tomashunas V. ^{13}C NMR and ESR characterization of humic substances isolated from soils of two Siberian Arctic islands // Int. J. Ecol. – 2015. – ID. 390591.

5. Polyakov V., Abakumov E. Humic acids isolated from selected soils from the Russian Arctic and Antarctic: characterization by 2D ^{1}H–^{13}C HETCOR and ^{13}C CP/MAS NMR spectroscopy // Geosciences. – 2020. –V. 10. – № 1. – ID 15.

ВЛИЯНИЕ РН И ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПРОДУКЦИЮ МЕЛАНИНОПОДОБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВЕННЫМИ БАКТЕРИЯМИ РОДА BACILLUS: ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ ГУМУСОПОДОБНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Дагалдьян А.С., Головенко Э.К., Дёмин К.А.
Академия биологии и медицины им. Д.И. Ивановского Южного Федерального Университета, Ростов-на-Дону
dagaldian@sfedu.ru

Почвенное органическое вещество (ПОВ) и гумусовые вещества участвуют в углеродном цикле, питании растений и связывании загрязнителей. Некоторые *Bacillus* и филогенетически близкие роды используют ферменты лакказы и тирозиназы для полимеризации фенолов в меланиноподобные вещества, и эти ферменты ассоциированы с образованием гуминовых веществ. Меланины, как и другие полифенолы, устойчивы к разложению и хелатируют органические соединения, поэтому гипотетически могут стабилизировать ПОВ. Ранее меланинообразующих бацилл авторы тезиса выделяли только из черноземов. Все изоляты синтезировали меланин из L-тирозина на среде LB, вероятно, через тирозиназный путь. Синтез не зависел от NaCl (1 и 5%) и от Cd, Cu, Ni, Co, Zn. Отсюда гипотеза: *Bacillus* могут трансформировать растительную органику, в частности листовой опад. Фенольные компоненты опада служат субстратом, а меланиноподобные продукты адгезируются на бактериальном матриксе. Цель состояла в оценке численности культивируемых *Bacillus* spp. в почвах разного типа на минеральной среде с водной вытяжкой листового опада и выявлении пигментированных форм.

Использовали бурозём (КГПБЗ), урбанозём (Ростов-на-Дону) и технозём (оз. Атаманское, Ростовская область; TR1) с экстремальным техногенным загрязнением. Посев проводили на синтетическую агаризованную среду RMM (г/л): NH_4NO_3 – 2,0; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,2; K_2HPO_4 – 2,0; Na_2HPO_4 – 3,0; $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ – 0,01; агар – 20. Использовали два варианта: RMM и RMM+ГТ (триптон и глюкоза, по 1 г/л). В оба вносили 50 мл водной вытяжки сухих листьев на 350 мл среды. Вытяжка была единственным источником фенолов, в варианте RMM и единственным источником углерода. Колонии учитывали через 2 суток после инокуляции, фиксировали пигментацию колоний и среды. Различия оценивали t-тестом Стьюдента; для групп с нулевой дисперсией тест не применяли.

Число колоний (среднее) на RMM и RMM+ГТ: бурозём – 14 и 167 ($p = 2{,}3 \cdot 10^{-5}$); урбанозём – 35 и 177 ($p = 0{,}009$); технозём – 0 и 50 (тест неприменим). На RMM бурозём и урбанозём различались ($p = 0{,}021$), в технозёме роста не было. На RMM+ГТ технозём уступал бурозёму ($p = 3{,}4 \cdot 10^{-5}$) и урбанозёму ($p = 0{,}012$), а бурозём и урбанозём не различались ($p = 0{,}71$). Пигментации колоний и среды не выявлено ни в одном варианте (Таблица 1).

Добавление ТГ увеличила численность колоний приблизительно в 12 раз в бурозёме и в 5 раз в урбанозёме. Рост на RMM указывает на присутствие в этих почвах бацилл, способных использовать компоненты опада, хотя их число

невелико. Отсутствие роста *Bacillus* spp. технозёма на RMM и низкая численность на RMM+ГТ, вероятно, связано с обеднением культивируемой микробиоты при сильном загрязнении. Отсутствие пигментации не подтверждает и не опровергает гипотезу. Возможные причины: неоптимальные условия культивирования; недостаток L-тирозина в вытяжке; короткий срок наблюдения (2 сут); потребление фенолов без накопления окрашенных продуктов; полимеризация фенолов при автоклавировании вытяжки.

Таблица 1. Полученные результаты исследования

Почва	RMM, колоний	RMM+ГТ, колоний	p (RMM vs RMM+ГТ)
Бурозём	≈14 (22, 11, 8)	≈167 (152–188)	$2{,}3\cdot10^{-5}$
Урбанозём	≈35 (26–49)	≈177 (139–250)	0,009
Технозём (TR1)	0 (все повторности)	≈50 (39–64)	тест неприменим (нулевая дисперсия)

МИГРАЦИЯ ТИЛОЗИНА ИЗ НАВОЗА И НАВОЗНОЙ ЖИЖИ В ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА НАСЫПНЫХ ОБРАЗЦАХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Тосхопоран А.К., Кирюшина А.П., Шулаков А.Ю., Умарова А.Б.
МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения
stasy.toskhoporan@gmail.com

Интенсивное применение антибиотиков (АБ) в животноводстве приводит к неизбежному поступлению их остаточных количеств в почву агроценозов с навозом, применяемым как органическое удобрение (Wohde et al., 2016; Marutescu et al., 2022). Для изучения миграции и возможных рисков распространения одного из самых применяемых в России антибиотика тилозина из навоза на дерново-подзолистой почве было проведено исследование с использованием метода выходных кривых в лабораторных условиях.

Образцы помещали в стандартные пластиковые колонки длиной 10 см и диаметром 4,5 см. Исследование проводилось на насыпных образцах дерново-подзолистой почвы с одинаковой плотностью набивки колонки 1-1,3 г/см^3 во всех повторностях. Первый вариант представлял собой незагрязнённую почву с последующим промыванием ее чистым раствором тилозина (1,7 г/л). Другие два варианта представляли имитацию внесения навозного удобрения, приближенной к реальным условиям. Изначально гранулированный коровий навоз выдерживали в растворе тилозина (1,7 г/л) в течение 3 месяцев. От исходной концентрации сохранилось лишь 15% АБ. Далее удобрение было разделено на две составные части: твердую и навозную жижу, которые вносили на поверхность колонки в количестве 17 г и 17 мл, соответственно. Доза была рассчитана на основании рекомендованных норм внесения на 1 га для культур – картофеля и кукурузы

(Минеев, 2016; Васильев, 2010). Для промывки загрязнённых колонок использовали дистиллированную воду в объёме около 400 мл, сопоставимой с климатической нормой осадков для исследуемой территории. На нижней границе колонки раствор, прошедший через толщу почвы собирается в виде фильтрата последовательно в стаканчики по 20 мл. Содержание тилозина в почвенном фильтрате измеряли методом спектрофотометрии.

Для анализа миграции были построены выходные кривые тилозина, как зависимость концентрации ионов от величины такта (отношение объема профильтровавшегося раствора к объему пор в каждой колонке) и рассчитаны параметры миграции АБ.

Выход тилозина в колонке с навозной жижей оказался более стремительный, чем в варианте с твердым навозом, что свидетельствует о том, что растворенный в жиже тилозин намного лабильнее тилозина, сорбированного с твердыми частицами навоза. Несмотря на одинаковое поровое пространство всех колонок, скорость потока колонки с навозной жижей (5,1 м/сут) почти в два раза выше остальных (2,1 - 2,7 м/сут), хотя и значения находятся в пределах одного порядка. Для колонки с твердым навозом небольшое замедление потока и выхода тилозина может быть связано с механическим задерживанием частиц навоза, а также с сорбцией АБ. Фронт диффузионного переноса размывается от 20 см в колонке с навозной жижей до 44 см в двух других. Однако, показатель гидродинамической дисперсии различается не так сильно (остается в пределах 200 $м^2$ в сутки для всех вариантов). Тилозин из чистого раствора распространяется на чуть большую площадь, чем вымытый тилозин из навоза и навозной жижи.

Твердое органическое вещество оказывает замедляющее влияние на передвижение тилозина, хотя и не сильно способно сократить площадь распространения АБ в данных количествах.

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ПРИ ОРОШЕНИИ

Манжикова А.В., Дюгидова О.А., Аржанова С.Э., Сангаджиева Л.Х.
Калмыцкий государственный университет им. Б.Б.Городовикова, г.Элиста
chalga_ls@mail.ru

Территория республики Калмыкия отличается от многих других регионов аридностью природно-климатических условий. Это определяет особенности состава, структуры и функционирования почв и почвенного покрова региона. Объектами исследования стали легкосуглинистые слабозасоленные бурые полупустынные почвы Прикаспийской низменности, функционирующие в условиях полупустыни и составляющие основной фонд сельскохозяйственных земель региона, земледелие проводится в условиях орошения. Характерной чертой исследуемых почв и почв региона является сосредоточенность основных запасов органического вещества в верхней части профиля, что связано с местными особенностями почвообразования, а именно поверхностным распространением корневых систем растений, сосредоточением основной их

массы в небольшом по мощности слое почвы, а также небольшой подвижностью гумуса в условиях слабой промачиваемости почв. При распахивании происходит перемешивание в бурых полупустынных почвах верхнего горизонта А, пропахивание идет еще и горизонта В. В результате образуется так называемый антропогенно-преобразованный горизонт Ар, обладающий уже иными, отличными от естественных горизонтов, свойствами. Окарбоначенные суглинки, подойдя близко к поверхности, заметно подщелачивают пахотный горизонт на 1-1,5 значений pH. В исследуемых почвах мощность гумусового горизонта Ар при распашке даже несколько увеличилась, но при этом резко снизилось содержание гумуса, особенно в лугово-бурой почве (примерно в 2 раза). В бурых полупустынных почвах количество гумуса изменилось не столь значительно, поскольку данный тип почв характеризуется изначально низким потенциальным плодородием. Поскольку мощность гумусового профиля исследуемых почв небольшая, то их распашка, а затем и смыв ведет к заметной потере органического вещества. При смыве происходит не только удаление верхних горизонтов, но и, одновременно, сортировка почвенных частиц, при которой теряется наиболее тонкодисперсная – гумусированная часть. На пашне, по сравнению с целиной, снижаются запасы азота, однако не так интенсивно, как гумуса. Сужение отношения C/N свидетельствует о меньшей обуглероженности гумуса, что вполне закономерно: под естественной растительностью формирование органического вещества происходит в иных условиях, чем на пашне. Содержание гумуса меняется в интервале 0,55-2,07 %. На целине летом при оптимуме тепла и влаги бурно накапливается растительная масса, происходит минерализация определенной части гумуса, интервалы гумуса 0,76-1,24 %. Сезонный ритм разложения и новообразования гумуса на пашне значительно нарушен, состав органических остатков здесь другой, изменяются тепловой и воздушный режимы почвы, идет перемешивание ее слоев, интервал гумуса 0,90-1,43 %. Характеризуя агрофизические свойства исследуемых почв, можно отметить следующие особенности. Плотность сложения горизонта Ад целины – 0,7 г/см^3, однако сразу под гумусовым горизонтом ее величина резко возрастает до 1,6 г/см^3. Содержание и запасы подвижных соединений основных питательных элементов аридных почв Прикаспийской низменности невелики и колеблются в пределах 1-2 % от валового их содержания. Существенным фактором, лимитирующим урожайность, служит низкая обеспеченность растений доступными формами питательных элементов, особенно азотом. По содержанию подвижного фосфора и обменного калия значительная часть почв относится к низко- и среднеобеспеченным (50-122 мг/кг). Количество фосфора в почвах обусловлено исходным его содержанием в породе и условиями почвообразования, а также находится в определенной зависимости от содержания гумуса. В исследуемых почвах содержание подвижного фосфора невелико и имеет прямую связь с количеством органического вещества. Содержание обменного калия напрямую зависит от влажности почвы, при орошении его количество в почве резко возрастает (80-175 мг/кг).

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ОСТРОВНОГО БУРОЗЕМА ОСТРОВА РУССКИЙ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Корочкина А.М., Степанов А.А.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, am-korochkina@mail.ru

Гуминовые кислоты – основной компонент специфического органического вещества почвы. С одной стороны, они являются относительно консервативным компонентом, отражающим в своей структуре историю почвообразования, а с другой – чувствительны к изменениям экологических условий. Исследование почв островов залива Петра Великого осложняется их труднодоступностью. Несмотря на уникальность этих территорий, сведения об их почвенном покрове остаются ограниченными. Новизна настоящей работы заключается в проведении комплексного анализа гуминовых кислот, выделенных из островной почвы, и в оценке особенностей островного почвообразования на основе данных о составе и строении гуминовых кислот как компонента, отражающего направленность почвообразовательных процессов.

Материалом для исследования послужили почвы острова Русский. В июне 2025 года на территории кампуса Дальневосточного федерального университета были заложены три почвенных разреза. Во всех разрезах почва была диагностирована как бурозём типичный. Гуминовые кислоты выделяли по методике, предложенной Орловым и Гришиной. Элементный состав полученных препаратов определяли на элементном анализаторе CHNS-O EMA 502 «VELP». Для оценки процессов, участвующих в формировании и трансформации гуминовых кислот, применяли графико-статистический анализ по Ван-Кревелену.

По данным элементного анализа, наибольшая массовая доля в составе препаратов гуминовых кислот приходится на углерод (55,23±0,06%). Содержание кислорода составляет 36,97±0,02%, водорода – 4,39±0,05%, азота – 4,03±0,03%. Пересчёт элементного состава в атомные проценты позволяет более объективно охарактеризовать строение молекул гуминовых кислот (Орлов, 1990). В атомных процентах доли углерода и водорода оказались близкими и составили 40,21±0,92% и 37,84±0,67% соответственно. На основании данных об элементном составе в атомных процентах были рассчитаны атомные отношения в молекулах гуминовых кислот. Отношение H:C, характеризующее степень развития боковых цепей, составило 0,96, а с учётом кислородсодержащих заместителей – 1,59. Эти значения ниже приведённых для континентальных бурозёмов. Полученное соотношение соответствует структуре циклопарафинов. Отношение C:N составило 16,2, что характерно для гуминовых кислот и подтверждает принадлежность исследуемого вещества к данной группе почвенных органических соединений. По совокупности полученных значений гуминовые кислоты можно отнести к соединениям с преимущественно ароматическим типом молекулярной структуры и высокой степенью окисленности (Заславский, 1993). Вместе с тем рассчитанная степень окисления молекул близка к нулю, что указывает на неоднозначность интерпретации полученных данных и

необходимость их сопоставления с результатами других методов исследования. На основании рассчитанных мольных соотношений был проведён графико-статистический анализ по Ван-Кревелену. Для сравнения с литературными данными на диаграмму были нанесены значения, полученные Нестеровой и Семаль (2009) для континентальных бурозёмов Уссурийского заповедника. Диаграмма показывает, что исследованные препараты гуминовых кислот островных бурозёмов образуют обособленную область и располагаются на значительном расстоянии от континентальных аналогов. Для гуминовых кислот островных бурозёмов характерны меньшая степень гидратации по сравнению с континентальными вариантами, а также признаки декарбоксилирования – отщепления CO2 от карбоксильных групп.

По сравнению с континентальными аналогами гуминовые кислоты, выделенные из островного бурозёма, характеризуются более высокой степенью конденсации и окисленности. Это может быть связано с более интенсивной деятельностью микроорганизмов в островных почвах. Одновременно ряд показателей указывает на структурную «незрелость» исследованных гуминовых кислот. Таким образом, полученные данные о строении и свойствах молекул гуминовых кислот островного бурозёма неоднозначны. Для установления закономерной связи между их составом, структурой и условиями почвообразования необходимо проведение дополнительных исследований.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИДОРОЖНЫХ ПОЧВ ВАСИЛЕОСТРОВСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Швецова А.А., Абакумов Е.В.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
st133942@student.spbu.ru

Городские почвы отличаются сложным и неоднородным составом органического вещества. Помимо растительных остатков, в них накапливаются бытовые, промышленные и транспортные отходы, сажа, нефтепродукты, полициклические ароматические углеводороды и другие продукты неполного сгорания топлива (Ладонин, 2019). Существенно увеличивать значение $C_{орг}$ могут привозные торфяные и компостные грунты, используемые при благоустройстве (Апарин, Сухачева, 2015), однако их присутствие не всегда свидетельствует о высокой степени гумификации.

Данные исследования придорожных почв Василеостровского района Санкт-Петербурга представлены в табл.1. Содержание C/N указывает на значительную долю углеродсодержащих соединений, которые могут быть недостаточно трансформированы и характеризоваться различной устойчивостью к микробиологическому разложению.

Таблица 1. Исследуемые параметры почв Василеостровского района

Элемент	$C_{орг}$, %	$N_{общ}$, %	C/N	Гумус, %
Mean	3,59	0,15	27,49	6,20
Median	3,41	0,14	25,30	1,76
Max	6,03	0,31	55,20	10,40
Min	1,77	0,05	15,05	3,05
SD	1,02	0,07	10,54	5,87

Интенсивность БД и СИД почв придорожных территорий в среднем составляет 1,8±0,7 и 4,2±2,1 мкг CO_2-C/(г почвы · ч) соответственно. Значение метаболического коэффициента представлено на рис. 1.

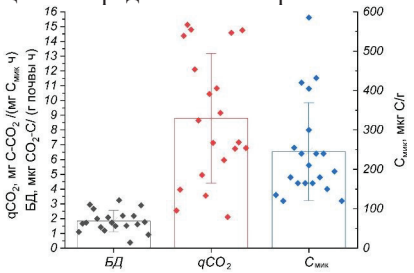


Рисунок 1. Биологические свойства почв придорожных территорий Санкт-Петербурга

Различие значений БД и СИД показывает, что микробное сообщество придорожных почв сохраняет способность активироваться при поступлении доступного органического субстрата. Однако высокое содержание углерода органических соединений не гарантирует эффективной гумификации, для которой необходимы достаточная обеспеченность азотом, оптимальная влажность и отсутствие токсического воздействия загрязняющих веществ. Повышенные значения qCO_2 могут свидетельствовать о стрессе микробного сообщества, так как значительная часть углерода расходуется на поддержание жизнедеятельности, а не на рост биомассы и формирование стабильного гумуса.

Таким образом, даже под влиянием антропогенного воздействия в придорожных почвах Василеостровского района одновременно происходят и активная минерализация доступного органического вещества, и замедленное образование устойчивых гумусовых соединений.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 26-16-20034 (договор с Российским научным фондом от 12 мая 2026 года, договор с Санкт-Петербургским научным фондом от 10 июня 2026 года).

Список использованных источников

1. Ладонин Д.В. Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2019. – 312 с.

2. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Классификация городских почв в системе российской и международной классификации почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – 2015. – Вып. 79. –С. 53–72.

БИОУГОЛЬ, ГУМАТ И ПОЛИМЕР: ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПУЛЫ ГУМУСА И СВОЙСТВА ПОЧВ

Якименко О.С., Степанов А.А., Журба В.С., Добровольская В.В.
МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва
iakim@soil.msu.ru

В современных условиях при разработке агротехнологий особое внимание уделяется углеродсодержащим почвоулучшителям. В качестве таких мелиорантов рассматривают в том числе и биоуголь (БУ) – материал, получаемый из органических отходов путем пиролиза при температуре 300–800 °С без доступа кислорода. Описан ряд положительных эффектов БУ на свойства почв: повышение pH; увеличение катионо-обменной и сорбционной емкости, пористости и аэрации; в большинстве случаев отмечено увеличение урожайности культур. В то же время, описаны и случаи отсутствия положительного отклика растений и проявления токсичности. Представляется перспективным совмещать БУ с другими углеродсодержащими мелиорантами, в частности, гуминовыми препаратами и/или гидрофильными полимерными материалами. Последние рассматриваются как структурообразователи и улучшители водно-физических свойств почв. Предположительно, БУ в сочетании с гуматами могут оказать более выраженное оптимизирующее воздействие на содержание гумуса, пулы питательных веществ, сорбцию и снижение токсичности поллютантов. Смешанные рецептуры, состоящие из синтетического полимера и БУ, потенциально могут создавать синергетический эффект и позволят комплексно улучшить состояние почв: оптимизировать водно-физические свойства и состояние органического вещества почвы при сохранении позитивной биологической активности в отношении высших растений.

Свойства и эффективность БУ существенно варьируют в зависимости от источника органического сырья и условий пиролиза. В работе проведен сравнительный анализ состава биоуглей, полученных из 11 видов различного растительного сырья, но при одинаковых условиях пиролиза. Величины pH варьировали в диапазоне 7-12, содержание С общ – 21-80%, N общ - от 0.1 до 5.2%; также БУ существенно различались по содержанию макро- (K, Na, P,Ca, Mg) и микроэлементов (Fe, Cu, Zn, Ni). С применением ИКС проанализировано наличие поверхностных функциональных групп, наблюдаемых в структуре 4х видов БУ и выявлены различия в их молекулярной структуре (степень ароматичности, содержании кислородсодержащих фрагментов и др).

В условиях модельных экспериментов изучено влияние БУ из кофейной шелухи (БУШ) в отдельности и в сочетаниях с гуматом калия «Сахалинский» и с полимерным мелирантом (ГИПАН) на химические свойства и лабильный пул органического вещества почв. Проанализировано воздействие на свойства почвенного органического вещества (ПОВ), содержание подвижных форм элементов питания растений и рост тест-культуры. Показано, что все мелиоранты увеличивают pH почвы от 6,6 до 7,0–7,8; содержание подвижных форм калия – в 6–10 раз. Содержание общего С увеличилось на 0,4–0,8% в соответствии с

внесенным количеством органических мелиорантов, но размер подвижного пула С как в водной, так и в щелочной вытяжках под воздействием БУШ не изменился. В условиях данного эксперимента органическое вещество БУШ не трансформировалось и осталось в составе негидролизуемой части гумуса. Гумат калия и ГИПАН как отдельно, так и в смеси с БУШ увеличивает долю подвижных фракций ПОВ от 10 до 20–30% к Собщ. В фитотесте на проростках *T.aestivum* достоверный прирост биомассы тест-культуры не выявлен. Потенциал БУШ в качестве почвенного мелиоранта как по отдельности, так и в смеси с гуматом и ГИПАНом требует дальнейшего изучения.

Работа выполнена в рамках госзадания 121040800154-8. Авторы благодарны кбн, доценту кафедры почвоведения ДВФУ О.В.Нестеровой за предоставление образцов биоуглей.

ИЗМЕНЕНИЕ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ФЕРГАНЫ

Хайдарова М.М., Хайдаров М.М., Турдалиев А.Т.
Ферганский государственный университет, Фергана
avazbek1002@mail.ru

Формирование устойчиво высокой продуктивности сельскохозяйственных культур при орошаемом земледелии во многом определяется состоянием органического вещества почвы и, прежде всего, характером гумусообразования и накопления гумуса. Гумус представляет собой один из ключевых компонентов почвенного плодородия, поскольку непосредственно связан с поддержанием агрономически ценных свойств почвы. При интенсивном сельскохозяйственном освоении земель и возрастающей антропогенной нагрузке особую актуальность приобретают процессы трансформации органического вещества, включая дегумификацию и связанные с ней изменения почвенного покрова. В этой связи сохранение существующих запасов гумуса, предотвращение его потерь, обеспечение воспроизводства органического вещества, а также поддержание устойчивого гумусового профиля и оптимизация качественного состава гумусовых соединений имеют существенное научное и практическое значение.

С учётом этого нами проведена оценка содержания и запасов гумуса, а также характеристик гумусного состояния орошаемых тёмных, типичных и светлых сероземов северной части Ферганы. Полученные материалы характеризуют особенности трансформации органического вещества сероземов в условиях длительного орошения и последующего сельскохозяйственного освоения. Анализ экспериментальных данных позволил установить определённые различия в распределении гумуса по почвенному профилю в зависимости от подтипа серозема и условий его использования.

В орошаемых сероземах, сформированных в условиях агроценозов, отмечается изменение вертикального распределения органического вещества. По сравнению с соответствующими участками целинных почв гумусовый профиль

орошаемых почв в определённой степени распространяется на более глубокие слои. В частности, в нижней части профиля отдельных орошаемых сероземов содержание гумуса может превышать его количество в аналогичных по глубине слоях неорошаемых почв. Подобное распределение свидетельствует о перераспределении органического вещества в почвенной толще под воздействием изменившегося водного режима. При определённых условиях орошение может усиливать поступление и перемещение растворённых и тонкодисперсных органических соединений из верхней части профиля в нижележащие горизонты.

Степень выраженности накопления гумусовых веществ в нижней части профиля неодинакова для различных подтипов сероземов. Количественные показатели гумуса и его запасы в отдельных генетических горизонтах характеризуются различной величиной и вертикальной дифференциацией. Выявленные различия могут быть обусловлены совокупным воздействием почвообразовательных факторов, продолжительностью орошения, характером сельскохозяйственного использования, поступлением органических остатков и особенностями миграции органического вещества в почвенном профиле.

Для более полной характеристики состояния органического вещества наряду с его общим содержанием и запасами существенное значение имеет групповой состав гумуса. Соотношение отдельных фракций гумусовых веществ позволяет характеризовать качественную направленность преобразования органического материала и выявлять особенности формирования гумусного состояния орошаемых почв. В исследованных сероземах показатели группового состава гумуса различаются в зависимости от подтипа почвы и условий её формирования и сельскохозяйственного использования. Результаты определения группового состава гумуса в орошаемых сероземах северной Ферганы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение гумусного состояния орошаемых почв

Показатели и единица изменения	Значение		
	Светлые	Типичные	Темные
Содержание гумуса в гумусовых горизонтах, %	0,55-1,03 очень низкое	0,86-1,41 очень низкое	0,96-2,1 низкое, очень низкое
Профильное распределение в метровой толще	Постепенно убывающее	Постепенно убывающее	Равномерно
Обогащенности гумуса азотом	Высокая	Высокая и средняя	Высокая
Степень гумификации $C_{гк}:C_{общ}\cdot_{100}$	Слабая	Слабая	Слабая
Тип гумуса, $C_{гк}:C_{фк}$	Фульватный	Фульватный	Гуматно-фульватный

Анализ представленных в таблице результатов позволяет установить существенные особенности распределения органического углерода и азота в профиле исследованных орошаемых сероземов. Независимо от подтиповой принадлежности и положения генетического горизонта содержание общего углерода изменяется в достаточно широком диапазоне - от 0,18 до 1,20 %.

Максимальные значения преимущественно приурочены к верхним пахотным горизонтам, что особенно характерно для тёмных и типичных сероземов. Подобная закономерность отражает преимущественную концентрацию органического вещества в верхней части профиля, непосредственно связанной с поступлением и трансформацией растительных остатков в условиях агроценоза.

В отличие от распределения общего углерода, содержание азота в исследованных почвах характеризуется тенденцией к увеличению с глубиной. Наиболее заметное накопление азота отмечено в нижних горизонтах орошаемых типичных сероземов. Такое соотношение между содержанием углерода и азота указывает на определённую специфику трансформации органического вещества в различных частях почвенного профиля и свидетельствует о неодинаковой интенсивности процессов его минерализации и гумификации.

Отношение С, являющееся одним из важных показателей качественного состояния органического вещества, также имеет определённые различия между подтипами сероземов. В орошаемых тёмных сероземах его значения находятся в пределах 5,9–8,1, в типичных сероземах - 7,4–9,8, тогда как для светлых сероземов установлен диапазон 7,02–7,90. Полученные значения характеризуют сравнительно узкое соотношение углерода и азота и отражают специфику состава органического вещества исследованных почв.

По характеру соотношения основных компонентов гумуса исследованные почвы относятся к гуматно-фульватному и фульватному типам. При этом степень гумификации существенно варьирует как между подтипами, так и в пределах отдельных генетических горизонтов. В тёмных сероземах данный показатель изменяется от 1,67 до 14,05, в типичных - от 1,19 до 13,45, а в светлых сероземах - от 2,10 до 11,72. Широкий диапазон значений свидетельствует о неодинаковой степени преобразования органического материала в различных частях профиля.

Характерной особенностью исследованных сероземов является значительная доля негидролизуемого остатка, содержание которого составляет 59,1–88,1 %. Высокая представленность данной фракции указывает на существенную роль устойчивой части органического вещества в формировании общего гумусового фонда почв. Одновременно сравнительно невысокие значения степени гумификации позволяют заключить, что процессы преобразования органических соединений в собственно гумусовые вещества в исследованных почвах протекают преимущественно слабо.

В целом комплекс показателей свидетельствует о специфическом гумусном состоянии орошаемых сероземов северной Ферганы. Содержание гумуса в исследованных почвах характеризуется как низкое, а его распределение по профилю имеет преимущественно постепенно убывающий характер. Вместе с тем относительно высокая степень обогащённости азотом, особенно в нижней части профиля отдельных почв, указывает на существенные различия в вертикальной трансформации углерод- и азотсодержащих соединений. Таким образом, гумусное состояние орошаемых тёмных, типичных и светлых сероземов определяется сочетанием низкого общего содержания гумуса, слабой степени гумификации, преобладания негидролизуемой части органического вещества и сравнительно высокой обеспеченности азотом.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ШЛАМ-ЛИГНИНА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК

Раджабзода П.А., Жиркова А.М., Маторин Д.Н., Перминова И.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
parvizbfzmm@mail.ru

Биотестирование водных вытяжек широко применяется для оценки экологической опасности техногенных отходов. Для материалов с высокой естественной влажностью результат такой оценки может зависеть не только от состава самого объекта, но и от способа подготовки образца перед получением вытяжки. Шлам-лигнин характеризуется высокой влажностью, поэтому целью работы было установить, влияет ли предварительное высушивание исходного материала на результаты биотестирования его водных вытяжек.

В работе исследовали исходный шлам-лигнин в двух состояниях: естественной влажности около 93% и после высушивания до воздушно-сухого состояния с остаточной влажностью 10–14%. Из образцов получали водные вытяжки при одинаковом массовом соотношении материала и воды. Токсичность оценивали с использованием гидробионтов, относящихся к различным систематическим группам.

При биотестировании на инфузориях *Paramecium caudatum* токсического действия водных вытяжек как из влажного, так и из воздушно-сухого шлам-лигнина не выявлено. Гибель тест-организмов во всех исследованных вариантах отсутствовала. В тесте на *Ceriodaphnia affinis* также не наблюдалось выраженной токсичности: различия между вытяжками из материала различной влажности находились в области низких значений биологического эффекта.

Полученные результаты показывают, что изменение влажности исходного шлам-лигнина может влиять на характеристики получаемой водной вытяжки и регистрируемый биологический отклик, однако не приводит к однозначному переходу материала из «токсичного» состояния в «нетоксичное». При сопоставлении результатов биотестирования высоковлажных техногенных отходов состояние исходного образца следует рассматривать как самостоятельный методический параметр и обязательно учитывать при приготовлении водных вытяжек.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова, регистрационный номер 122040600057-3.

СЕКЦИЯ 2
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ГУМИНОВЫХ СИСТЕМ, ПОЧВЕННОГО И РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ КРОСС-ПОЛЯРИЗАЦИИ НА СПЕКТРЫ CP/MAS ^{13}C ЯМР ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

Лодыгин Е.Д., Василевич Р.С.
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
lodigin@ib.komisc.ru

Гуминовые кислоты (ГК) являются одной из наиболее сложных и гетерогенных фракций органического вещества почв. Для исследования их молекулярной организации широко применяется твердофазная ЯМР-спектроскопия ^{13}C CP/MAS, однако количественная интерпретация получаемых спектров существенно зависит от условий регистрации, прежде всего от времени кросс-поляризации. Целью работы являлась оценка влияния времени контакта на распределение интенсивностей сигналов в спектрах CP/MAS ^{13}C ЯМР препаратов ГК мерзлотной торфяной почвы и анализ кинетики переноса поляризации.

Объектом исследования служили препараты ГК, выделенные из шести горизонтов торфяной почвы (Hemic Folic Cryic Histosol), расположенной в зоне многолетней мерзлоты. Препараты ГК выделяли по методике IHSS. Спектры CP/MAS ^{13}C ЯМР регистрировали при времени контакта от 0,01 до 10 мс. Интенсивности основных структурных фрагментов анализировали с использованием классической трехпараметрической и расширенной четырехпараметрической моделей кинетики кросс-поляризации.

Установлено, что изменение времени контакта существенно влияет на кажущееся распределение интенсивностей между основными структурными группами ГК. При малых временах контакта максимальную интенсивность демонстрируют алифатические и О-алкильные структуры, характеризующиеся высокой плотностью протонов и эффективным переносом поляризации. По мере увеличения времени контакта относительный вклад этих фрагментов уменьшается, тогда как интенсивность сигналов ароматических и карбоксильных групп возрастает. Показано, что времена кросс-поляризации алифатических структур значительно меньше соответствующих времен релаксации $T_{1\rho H}$, что свидетельствует о быстром переносе поляризации в данных молекулярных доменах. Напротив, ароматические и кислородсодержащие структуры характеризуются более медленной кинетикой переноса поляризации и увеличенными значениями $T_{1\rho H}$, отражающими более жесткую и конденсированную молекулярную организацию ГК. Использование расширенной четырехпараметрической модели позволило существенно улучшить описание кинетики сигналов ароматических и гетероатомсодержащих структур ГК по сравнению с классической моделью, что свидетельствует о наличии нескольких эффективных механизмов переноса поляризации в наиболее структурно

неоднородных областях ГК. Кроме того, по профилю торфяной залежи выявлена тенденция изменения кинетических параметров, связанная с долговременным криогенным сохранением органического вещества.

Полученные результаты показывают, что учет кинетики кросс-поляризации является необходимым условием корректной интерпретации спектров CP/MAS ^{13}C ЯМР препаратов ГК. Расширенная четырехпараметрическая модель наиболее эффективно описывает кинетику ароматических и гетероатомсодержащих структур ГК, тогда как для относительно однородных алифатических фрагментов достаточной является классическая трехпараметрическая модель. Выявлены различия в параметрах CP-динамики ГК, выделенных из разных горизонтов торфяной залежи: образцы сезонно-талого слоя характеризуются более эффективным переносом поляризации и более высокой интенсивностью сигналов, тогда как ГК переходного и мерзлого слоев отличаются большей структурной неоднородностью и сниженной эффективностью кросс-поляризации. Полученные параметры CP-динамики могут использоваться как сравнительные дескрипторы молекулярной организации ГК и процессов их гумификации и длительного сохранения в торфяных залежах при стандартизированных условиях эксперимента. Применение серии экспериментов с различным временем контакта в сочетании с кинетическим моделированием обеспечивает более надежную интерпретацию спектров CP/MAS ^{13}C ЯМР по сравнению с использованием одного фиксированного времени контакта и расширяет аналитические возможности метода при исследовании гуминовых веществ и других структурно неоднородных природных органических систем.

Работа выполнена при поддержке бюджетной темы Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 125021902454-1.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КОМПОНЕНТЫ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА: ОПТИМИЗАЦИЯ ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДНОГО РАСТВОРА ДМСО

Фаррахова Г.Р [1]., Сутормин О.С[1,2], Байбулатов Р.Я[1].
[1]Сургутский государственный университет, г. Сургут,
[2]Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
farrahova_gr@surgu.ru

Нефтяное загрязнение вызывает существенную трансформацию почвенного органического вещества (ПОВ), изменяя его структуру, функциональные свойства и состав гуминовых компонентов. Контроль содержания нефтепродуктов необходим для оценки степени деградации ПОВ и последующего изучения изменений гуминовых веществ в загрязненных почвах. Стандартная методика ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 основана на экстракции четыреххлористым углеродом (CCl_4), использование которого ограничено высокой токсичностью и экологической опасностью [1]. Целью работы являлась

разработка безопасной альтернативы ИК-спектроскопическому определению нефтепродуктов в почвах с сохранением возможности последующего исследования компонентов почвенного органического вещества.

В качестве модельных объектов использовали подзолистые почвы с различной степенью нефтяного загрязнения. Экстракцию проводили водными растворами диметилсульфоксида (ДМСО) различной концентрации. Эффективность экстракции оценивали по интенсивности полос поглощения C–H-связей в области 2800–3000 $см^{-1}$, характерных для алифатических углеводородов, а также по изменению спектральных характеристик в области 1600–1700 $см^{-1}$, отражающих состояние кислородсодержащих функциональных групп почвенного органического вещества.

Установлено, что дистиллированная вода не обеспечивает надежного разделения уровней загрязнения выше 25 г/кг вследствие низкой растворимости углеводородов. Наиболее высокую эффективность среди исследованных вариантов продемонстрировал 75%-ный водный раствор ДМСО, обеспечивший четкую линейную зависимость аналитического сигнала от содержания нефтепродуктов при концентрациях от 50 г/кг. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными о перспективности применения ДМСО в исследованиях нефтезагрязненных почв и биолюминесцентных методов оценки их токсичности [2]. Предложенный подход пригоден для контроля сильного нефтяного загрязнения песчаных и супесчаных почв. Использование водного раствора ДМСО позволяет сохранить нативное состояние компонентов почвенного органического вещества, что создает предпосылки для комплексного исследования структурных изменений гуминовых веществ при антропогенном воздействии.

Таким образом, применение 75%-ного водного раствора ДМСО представляет собой экологически безопасную альтернативу CCl_4 при ИК-спектроскопическом контроле нефтяного загрязнения почв, сохраняя высокую аналитическую эффективность метода. Разработанный подход может быть использован при исследовании взаимодействия нефтяных углеводородов с гуминовыми веществами и оценке трансформации почвенного органического вещества в условиях нефтяного загрязнения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-14-20030, https://rscf.ru/project/24-14-20030/.

Список использованных источников

1. Daâssi D., Qabil Almaghribi F. Petroleum-contaminated soil: environmental occurrence and remediation strategies // 3 Biotech. – 2022. – V. 12. – P. 139.

2. Sutormin O. S., Lonshakova-Mukina V. I., Deeva A. A., Gromova A. A., Bajbulatov R. Y., Kratasyuk, V. A. Dimethyl Sulfoxide as a Bproiocompatible Extractant for Enzymatic Bioluminescent Toxicity Assays: Experimental Validation and Molecular Dynamics Insights // Toxics. – 2025. – V. 13. – P. 1038.

EPR SPECTROSCOPY AS A TOOL FOR ASSESSING THE HUMIFICATION POTENTIAL OF BROWN COALS VIA MACERAL COMPOSITION

Protasov A.A., Skripkina T.S.
Institute of solid state chemistry and mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk,
protasov@solid.nsc.ru

Introduction. Brown coals represent a complex organo-mineral matrix formed from plant biomass during coalification. The organic matter consists of three primary maceral groups: vitrinite, liptinite, and inertinite. A defining feature of brown coals is the predominance of vitrinite, which comprises humified lignocellulosic debris made of irregular polyphenolic structures. Liptinite originates from cuticle and pollen remnants rich in fatty acids and waxes, while inertinite consists of highly condensed, oxidized aromatic compounds. Among these macerals, vitrinite serves as the main precursor for humic acids; thus, quantifying its content is essential for predicting extraction efficiency and further humification potential. Although petrographic analysis is traditionally used for maceral quantification, it requires labor-intensive sample preparation and large sample volumes. Moreover, unlike physicochemical techniques, petrographic analysis cannot resolve chemical structure features, such as the degree of aromaticity and functional group composition. Therefore, this work aims to evaluate physicochemical analytical methods to estimate the maceral content in brown coals.

Materials and Methods. To achieve this goal, brown coal (BC) samples of various origins (R_{vt} = 0.38-0.49 %) were selected. Petrographic analysis was conducted to determine the maceral composition and evaluate the coalification rank. Elemental analysis (CHNS-O) was performed to determine the elemental composition and calculate atomic ratios ((H/C), (O/C), (N/C)). FTIR spectroscopy was applied to identify functional groups in the coal organic matter and calculate key structural parameters. Finally, electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy was utilized to determine the concentration and nature of stable free radicals.

Results. Petrographic analysis classified the samples as humic coals dominated by the vitrinite group (62–95%), with varying amounts of liptinite and inertinite. Elemental analysis revealed that higher liptinite content correlates with an elevated atomic H/C ratio. Structural group analysis via FTIR spectroscopy enabled the quantification of key functional groups and structural parameters, including aromaticity (f_a, I), degree of condensation (DOC), and aliphatic chain length ($A(CH_2)/A(CH_3)$). EPR spectroscopy showed that the g-factor increases with higher vitrinite content due to the abundance of heteroatoms within its matrix, whereas the highly condensed aromatic compounds of inertinite decrease the g-factor. Based on the obtained data, a linear regression was successfully developed to predict vitrinite content directly from the EPR parameters. The predicted vitrinite values demonstrated excellent agreement with experimental petrographic data (R^2 = 0.89). The regression results also revealed a significant contribution of inertinite to the g-factor value (R^2 = 0.83). Conversely, liptinite showed no significant effect on g-factor alterations, which is attributed to its chemical structure exhibiting a low concentration of stable radicals.

Conclusions. This study highlights the specific impact of maceral groups on g-factor variations. However, determining the individual g-factors of isolated macerals

remains an open question. The findings obtained are highly promising for advancing the production of humic substances from brown coals. Specifically, this approach simplifies the screening and prediction of the potential of various brown coal samples, streamlining processing design, the selection of extraction methods, and the evaluation of the need for additional humification.

This study was supported by the Russian Science Foundation (project no. 26-79-10335) https://rscf.ru/project/26-79-10335/

ANALYTICAL APPROACHES TO THE STUDY OF COALS AND HUMIC SUBSTANCES AS A SOURCES FOR RARE EARTH ELEMENT EXTRACTION

Karpova A.E., Skripkina.T.S.
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia, karpova.nas03@mail.ru

Rare earth elements (REEs) are strategic raw materials for high-tech industries. Coal and its combustion products, which contain elevated concentrations of REEs, represent a promising alternative source. Scientific studies demonstrate that coal is a complex organomineral matrix in which REEs can be bound both to mineral phases – clays, carbonates, quartz – and to the organic component. In the organic part, REEs are predominantly bound to humic substances, which are especially abundant in brown coals. This interaction is possible due to carboxyl, phenolic, and hydroxyl groups that form stable complexes with metal ions. The ratio of these forms in coal depends on its formation conditions, degree of metamorphism, and mineral composition, which determines the availability of REEs for extraction [1]. Predicting the modes of REE occurrence requires a comprehensive approach involving a set of complementary analytical methods, each characterizing the parameters of the coal matrix: density, structural ordering, functional groups, etc.

The aim of this work is to review and assess the applicability of instrumental methods for characterizing the organomineral matrix of coals and humic substances, as well as for predicting REE binding and extraction. Several advanced analytical approaches are considered. The phase composition and parameters of the organic structure are characterized by X-ray diffraction analysis; the ordering of the carbon structure and its changes during mechanochemical treatment are assessed by Raman spectroscopy; functional groups responsible for complexation are identified by NMR spectroscopy [2]; REE binding to humic acids is studied using fluorimetry; quantitative determination of REEs is performed by ICP-MS. Additionally, the capabilities of other methods are considered. At the same time, the methods can be interchangeable: each characterizes its own aspect of the matrix, yet in certain cases they are able to substitute for one another, and their combination provides cross-validation and enhances the reliability of the results.

Previously, we obtained results confirming the possibility of REE complexation with humic substances, including through mechanochemical activation.

Mechanochemical activation enables the opening of mineral phases and increases the reactivity of humic substances, which enhances the availability of functional groups for REE binding. This direction is considered promising, as it ensures process efficiency (including through reduced reagent consumption) and allows the process to be monitored using the presented tools [3].

The considered methods make it possible to characterize the initial raw material, assess the modes of REE occurrence and their availability for extraction. The comprehensive approach combining spectral and structural methods provides a basis for predicting REE behavior in extraction processes and for developing an efficient technology for extracting strategically important elements from alternative raw materials.

This study was supported by the Russian Science Foundation (project №. 26-79-10335).

References:

1. Balaram V., Manikyamba C. Coal and coal combustion byproducts as promising resources for the extraction of rare earth elements for the current energy transition //Geological Journal. – 2026.
2. Li S. et al. The chemical and alignment structural properties of coal: insights from Raman, solid-state 13C NMR, XRD, and HRTEM techniques //ACS omega. – 2021. – Т. 6. – №. 17. – С. 11266.
3. Karpova A. E., Skripkina T. S., Shatskaya S. S. Mechanochemical Activation of Ashes from Lignite-Coal Thermal Power Plants as a Method for Increasing the Extraction of Rare Earth and Dispersed Elements //Solid Fuel Chemistry. – 2026. – Т. 60. – №. 1. – С. 42-48.

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БУРЫХ УГЛЕЙ РАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Попов А.И.[1], Абу Дийак И.Т.[1], Жилкибаев О.Т.[2]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
[2]Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы,
Республика Казахстан, paihumic@gmail.com; zhilkibaevoral@mail.ru

Бурые угли могут служить источником для получения растворов биологически активных органических веществ, предназначенных для некорневой обработки сельскохозяйственных культур. В качестве объектов исследования были выбраны образцы углей из разных месторождений: один – из Казахстана (К), один – из Томской области (Т), два – из Иркутской области (И1, И2) и один – из Северного Тимана (СТ).

В составе органического вещества (ОВ) углей определяли: фотосинтетические пигменты (хлорофиллы *a*, *b*, c_1+c_2, феофетины и каротиноиды) – спектрометрическим методом; остальные компоненты определялись гравиметрическим (массовым) методом, к которым относились: гликопротеиновые конъюгаты (ГПК); меланиновые вещества (МВ); неполярные

липиды (НПЛ), извлекаемые трихлорметаном, – битумоиды А; полярные липиды (ПЛ), извлекаемые этанол-беззольной (1:2) смесью, – битумоиды С и протогуминовые вещества (ПГВ), извлекаемые 10 % водным раствором аммиака. Общее содержание ОВ оценивали на основании определения величины потерь при прокаливании (ППП) – прокаливанием при температуре 700ºС. Дополнительно, на семенах кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) определялась биологическая активность МВ и ПГВ, а также, так называемых, гуминовых веществ (ГВ), переходящих в щелочной раствор $Na_4P_2O_7$ (ЩВ).

Как было установлено, содержание МВ было наибольшим в углях И2 (Иркутская область). Содержание ГПК в углях К и И1, было существенно выше, чем в углях остальных месторождений. Содержание НПЛ в углях К и СТ было самым большим по сравнению с таковыми из других месторождений. Наибольшее содержание ПЛ было отмечено в углях Томской области (Т). В углях из Северного Тимана (СТ) содержание ПГВ было значимо меньшим по сравнению с другими углями. В углях Т, К и И1 между значениями суммы всех выделенных компонентов ОВ и величиной ППП существенных различий обнаружено не было. В углях СТ и И2 сумма фракций была ниже по сравнению с ППП, что, предположительно, может быть связано с присутствием горючих, но нерастворимых в органических растворителях компонентов ОВ. Кроме того, оценивалась биологическая активность МВ и ПГВ, а также ГВ ЩВ, на основе следующих биометрических показателей проростков кресс-салата: длине корней, массе влажных корней и побегов, массе воздушно сухих корней и побегов, содержании каротиноидов в побегах. На основе анализа значений обобщенной функции желательности Харингтона биометрических показателей тест-растений была выявлена следующая закономерность по убыванию стимулирующего эффекта: МВ > ПГВ > ГВ ЩВ. Угнетающее действие ГВ ЩВ на длину корней, на массу сухих корней и побегов проростков, может объясняться присутствием в этой вытяжке фитотоксичных веществ, которые могут появляться в результате щелочного гидролиза ОВ бурых углей. Следует отметить, что в промышленном производстве препаратов ГВ, как правило, используются водные растворы, полученные на основе едкого кали. По нашему мнению, фитостимулирующее действие промышленных препаратов ГВ, выделенных из бурых углей, обусловлено именно присутствием в них большого количества катионов калия. Низкое благоприятное влияние на тест-растения исследованных нами растворов ГВ ЩВ, также можно объяснить отсутствием в этих растворах ионов калия. Заметим, что в изучаемые нами растворы МВ и ПГВ входили катионы натрия, а не калия. На основании значений обобщенной функции желательности Харингтона, рассчитанных для ГВ ЩВ и МВ, была выявлена тесная, но не значимая, взаимосвязь так, частный коэффициент корреляции (при постоянстве влияния ПГВ на биоактивность ГВ ЩВ) был равен 0,78. Иными словами, чем больше в составе ОВ бурых углей МВ, тем выше биологическая активность ГВ ЩВ.

Таким образом, дробное последовательное выделение различных фракций бурых углей ОВ на основании содержания в последних МВ и ПГВ позволит оценивать пригодность этих каустобиолитов в качестве потенциальных источников биологически активных веществ, предназначенных для некорневой обработки сельскохозяйственных культур.

ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА РИЗОСФЕРЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ И ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ

Данченко Н.Н., Данилин И.В., Зиганшина А.Р., Фарходов Ю.Р., Григорьева И.И., Холодов В.А.
ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Москва
nataly_danch@mail.ru

В условиях глобального изменения климата всё более частыми абиотическими стрессорами для агроэкосистем становятся засухи и переувлажнения. Состав растворенного органического вещества (РОВ) ризосферы зависит не только от количества и качества стабилизированного почвенного органического вещества, но и от текущей жизнедеятельности растений и микробов, что делает его чувствительным к условиям внешней среды и действию абиотических стресс-факторов. Однако эти взаимосвязи еще недостаточно исследованы. Целью работы было оценить количественные и качественные вариации органического вещества в ризосфере четырёх сельскохозяйственных культур (овсяница луговая, овёс посевной, пшеница мягкая, люцерна посевная) в условиях засухи, оптимального и избыточного увлажнения в вегетационном эксперименте на чернозёме типичном. На основе полученных данных выявить показатели, которые могут служить индикаторами стресса системы «растение–микробиом–почва». Для характеристики РОВ использован комплекс методов: элементный анализ, определение водорастворимого органического углерода и азота, ИК- и УФ-спектроскопия, 3D-флуоресценция с расчётом оптических индексов и PARAFAC-моделированием. Валовое содержание C и N в почве практически не менялось в зависимости от увлажнения, однако пул РОВ претерпевал значительные количественные и качественные изменения. При засухе в ризосфере злаковых увеличивались содержание водорастворимых форм углерода, доля углеводных и алкильных фрагментов (по данным ИК-спектров) и вклады гумино-подобного и протеино-подобного микробных флуоресцирующих компонентов C1 и C3, рассчитанные по PARAFAC-модели. Эти результаты свидетельствует об усилении выделения корневых экссудатов и повышении микробной активности. Оптические индексы, рассчитанные по данным УФ-спектров и спектров флуоресценции, оказались нечувствительными к дефициту влаги. При переувлажнении содержание водорастворимых форм углерода снижалось, падали интенсивности полос углеводов и алкилов в ИК-спектрах и вклады флуоресцирующих компонентов C1–C3, что указывает на частичное вымывание РОВ и угнетение аэробной микрофлоры. Однако, рост оптических индексов, связанных с биологической активностью, в ризосфере большинства культур может отражать активизацию анаэробных или факультативно-анаэробных микроорганизмов. Выявлена видоспецифичность: ризосфера люцерны отличалась высоким содержанием водорастворимого азота и присутствием фульвато-подобного флуоресцирующего компонента C4, а злаковые (особенно овсяница и пшеница) продемонстрировали наибольшее число значимых различий между режимами увлажнения. Таким

образом, использование комплекса спектроскопических методов и PARAFAC позволило выявить тонкие сдвиги в составе РОВ почв, не детектируемые рутинными методами. Предложены спектроскопические маркеры, которые могут быть использованы для ранней диагностики стрессового состояния агроэкосистем.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Макарова А.А. [1], Лоншакова-Мукина В.И.[2]
[1]Сургутский государственный университет, г. Сургут
[2]Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск
alena-molniya@mail.ru, viktoriya.lww@gmail.com

Интенсивная эксплуатация нефтегазовых месторождений, особенно в Западной Сибири, сопровождается масштабным техногенным воздействием на почвенный покров. Традиционный химический анализ, основанный на количественное определение отдельных загрязнителей, не позволяет оценить реальную опасность загрязнённых территорий, поскольку не учитывает комплексные эффекты веществ и трансформацию исходных соединений в более токсичные метаболиты. Альтернативой выступают биологические методы, среди которых особого внимания заслуживают ферментативные тест-системы, обеспечивающие высокую чувствительность, быстроту получения результата и интегральную оценку токсичности [1].

Модельные образцы подзолистых почв (ХМАО-Югра) загрязняли нефтью и дизельным топливом (25 и 50 г/кг). В часть образцов вносили моноаммонийфосфат (МАФ, 125 и 250 мг/кг). Токсичность оценивали по степени ингибирования трёх ферментативных систем: моно- (NADH:FMN-оксидоредуктаза, R), би- (R + люцифераза, R+L) и триферментной (алкогольдегидрогеназа + R+L, A+R+L). Экстракцию проводили 25% ДМСО, обеспечивающим эффективное извлечение углеводородов без ингибирования ферментов в рабочих концентрациях [2].

В ходе сравнительного анализа трёх ферментативных систем к углеводородам установлено, что максимальной чувствительностью к дизельному топливу обладает триферментная система A+R+L, для которой IC50 равнялась 0,48% для нефти и 0,13% дизельного топлива. Показатель полумаксимального ингибирования при использовании биферментной системы составлял 0,35% и 0,30%. Моноферментная R не может быть рекомендована к применению из-за невоспроизводимости данных вследствие низкой стабильности оксидорудуктазы в растворах сложного состава. Ингибирующий ответ варьируется при одинаковом уровне загрязнения в зависимости от места отбора проб, что требует калибровки для разных анализируемых территорий. Анализ временной динамики (1 день – 6 месяцев) продемонстрировал, что спустя полгода после внесения удобрения – моноаммонийфосфата, использующегося в качестве биостимулятора,

ингибирующий эффект возрастает на 15%, предположительно вследствие накопления промежуточных продуктов биотрансформации углеводородов с более высокой токсичностью. Выявлено, что при сильном загрязнении и недостаточном внесении МАФ происходит неполная деградация углеводородов, которую фиксируют ферментативные системы.

Проведенное исследование показало, что ферментативные тест-системы являются эффективным инструментом мониторинга ремедиации нефтезагрязнённых почв. При этом триферментная система обладает наибольшей чувствительностью и может использоваться для раннего выявления низких концентраций остаточных нефтепродуктов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-14-20030, https://rscf.ru/project/24-14-20030/

Список использованных источников

1. Колосова Е.М., Сутормин О.С., Есимбекова Е.Н., Лоншакова-Мукина В.И., Кратасюк В.А. Комплексный ферментативный биотест для оценки загрязнения почвы //Доклады Академии наук. –2019. – Т. 489. – № 1. – С. 103-107.
2. Sutormin O.S., Lonshakova-Mukina V.I., Deeva A.A., Gromova A.A., Bajbulatov R.Y., Kratasyuk V.A. Dimethyl Sulfoxide as a Biocompatible Extractant for Enzymatic Bioluminescent Toxicity Assays: Experimental Validation and Molecular Dynamics Insights. Toxics. – 2025. – Vol. 13(12). – P. 1038.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ И ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ С ПЕРОКСИДАЗОЙ

Демин В.В., Завгородняя Ю.А
МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва
vvd.msu@gmail.com

Скорость и полнота разложения органического вещества в почве, контролируется активностью экзо- и эндоферментов, поступающая в почву при жизни микроорганизмов и после их отмирания. Реакции с участием гиролитических экзоферментов приводят к деградации различных биополимеров: полисахаридов, белков, нуклеиновых кислот, липидов. В то же время, взаимодействие оксидаз (пероксидаз и лакказ) с субстратами типа лигнина (полифенолы) и монофенолами может вызывать как полимеризацию, так и деполимеризацию гуминовых кислот *in vitro*. Конечный результат взаимодействия зависит от исходного молекулярно-весового распределения, относительной гидрофобности высоко- и низкомолекулярных фракций гуминовых кислот. Известно, что гуминовые вещества могут в той или иной степени ингибировать активность гидролаз и оксидаз, принимающих участие в разложении высоко- и низкомолекулярных органических веществ. Процесс ингибирования обратим и относится, как полагают, к конкурентному типу – молекулы гуминовых веществ связываются с активным центром фермента.

Эффективность ингибирования пропорциональна молекулярной массе или гидрофобности молекул гуминовых веществ.

В работе было изучено взаимодействие гуминовых кислот и высокомолекулярных биополимеров с пероксидазой. В качестве объектов исследования использованы гуминовые кислоты, выделенные из дерново-подзолистой почвы, торфа и бурого угля, препараты диоксан-лигнина из ели, меланина (выделен из *Cladosporium Cladosporoides)* и фракции гуминовой кислоты различной молекулярной массы. Молекулярно-массовое распределение гуминовых кислот, меланина и лигнина определяли методом гель-хроматографии. Ингибирование пероксидазы препаратами оценивалось по скорости снижения окисления субстрата (ABTS (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)) ферментом. Для определения типа ингибирования и констант устойчивости фермент-ингибиторного комплекса исследованных препаратов использовались графики в координатах Диксона.

Получено что в продуктах реакции полимеров с системой «пероксидаза + пероксид водорода» увеличивается доля высокомолекулярных фракций. Тип ингибирования для всех препаратов, за исключением низкомолекулярной фракции гуминовой кислоты, можно определить как обратимое ингибирование смешанного типа. В случае низкомолекулярной фракции гуминовой кислоты тип ингибирования приближается к неконкурентному. Неконкурентное ингибирование в простейшем случае предполагает взаимодействие ингибитора, в данном случае, исследуемых биополимеров, не с активным центром фермента, а с белком-носителем. Напротив, конкурентное ингибирование предполагает протекание реакции ингибитора и субстрата на активном центре фермента. Было установлено, что эффективность ингибирования повышалась с увеличением молекулярной массы и находилась в обратной зависимости от числа функциональных групп на единицу массы исследованных биополимеров, т.е. была обратно пропорциональна их полярности.

Результаты описанных выше экспериментов позволяют предложить следующий механизм стабилизации пула органического углерода в почве, основой которого является отрицательная обратная связь в системе «субстрат – фермент – продукт». Способность гуминовых кислот к полимеризации падает с увеличением молекулярной массы полимеров в результате нарастающего ингибирования ферментативной реакции ее продуктами. Одновременно, в ходе реакции в молекулах биополимеров происходит снижение концентрации активных центров, способных вступать в реакции полимеризации. Два этих процесса могут являться одними из механизмов, тормозящих «бесконечную» полимеризацию образующихся в почве гуминовых веществ. Образующиеся в ходе свободнорадикальной полимеризации высокомолекулярные продукты начинают также ингибировать реакции с участием ферментов других классов, например, гидролаз. Таким образом, процесс быстрого и глубокого распада белков, полисахаридов, липидов несколько затормаживается, пул элементов-биофилов стабилизируется и, соответственно, состояние микробного сообщества в почве становиться более устойчивым.

КАК НЕОДНОРОДНОСТЬ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВ ВЛИЯЕТ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА?

Данилин И.В.
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва
danilin_iv@esoil.ru

На способности алгоритмов машинного обучения выявлять связи между характеристиками инфракрасных спектров и химическими свойствами почвы основан активно развивающийся в почвоведении методический подход – предиктивная почвенная спектрометрия. Этот подход позволяет значительно ускорить и удешевить химический анализ проб, в т.ч. и анализ содержания углерода органического вещества. Ограничением этого подхода является необходимость создания больших спектральных библиотек для обучения моделей, в которых каждому спектру соответствует набор экспериментально измеренных характеристик почвы. При этом влияние разнообразия спектральных свойств почв в среднем ИК диапазоне на оценку содержания углерода органического вещества остаётся малоизученным вопросом. Целью исследования являлось выделение спектральных классов из открытой спектральной библиотеки почв OSSL (https://soilspectroscopy.org) на основе алгоритмов кластеризации и оценка эффективности предсказания содержания углерода органического вещества для почв разных спектральных классов.

В качестве объекта изучения использовались данные открытой глобальной спектральной библиотеки OSSL, содержащей инфракрасные спектры среднего диапазона (500-4000 $см^{-1}$) проб с содержанием углерода органического вещества не более 5%, измеренного методом Дюма (сухое сжигание), общим объемом 65033 спектров. Спектры нормализовывали методом SNV (Standard Normal Variate) и сглаживали фильтром Савицкого-Голея, после чего по вторым производным спектров измеряли интенсивности пиков, снижая размерность спектров с приблизительно 4000 точек до 30-40. Процедура выделения спектральных классов почв включала снижение размерности данных с помощью метода главных компонент и последующую кластеризацию алгоритмом K-средних. Обучение моделей проводилось в среде программирования R (версия 4.5.2). В качестве модели была выбрана модель ансамблевой регрессии Cubist. В качестве метрик качества использовали коэффициент детерминации R^2, среднеквадратичную ошибку RMSE, RPIQ (Ratio of Performance to Interquartile distance, отношение межквартильного размаха к RMSE). Оценку качества моделей проводили на основе 10-кратной кросс-валидации. Обучение моделей на массиве спектров из отдельных спектральных классов проводилось на выборках равного объема (1250 спектров) в 5-кратной повторности.

В результате кластеризации было выделено 4 спектральных класса, соответствующих карбонатным (12 %), песчаным (38 %), суглинистым и глинистым (8 %) и почвам без особых спектральных признаков (42 %). Таким образом, основным фактором, влияющим на разнообразие спектров почв, является состав минеральной фазы, а не органическое вещество. Важность

отдельных полос поглощения при создании предсказательной модели слабо различалась в спектральных классах. Наиболее важными являлись полосы 2850-2950 см-1 (колебания метильных и метиленовых групп), а также полосы в области 1600-1800 см-1 (колебания C=C в арильных кольцах, колебания C-O карбоксильных групп). К наиболее явным особенностям можно отнести увеличивание важности полос 3500-3900 см-1 (колебания -O-H почвенных минералов) для класса суглинистых почв, резкое увеличение важности полосы 1800 см-1 у почв без ярко выраженных спектральных признаков и полосы 2500 см-1 у песчаных и карбонатных почв по сравнению с остальными почвами. Результаты моделирования показали более значимые различия между спектральными классами. Если принять результат моделирования по выборке из полной спектральной библиотеки за базовый результат, то качество предсказания заметно увеличивается для песчаных почв и почв без особых спектральных признаков, слабо увеличивается для глинистых и суглинистых почв и значительно уменьшается для карбонатных почв.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что функциональная связь между содержанием углерода органического вещества и составом минеральной матрицы почв не универсальна и свойства органо-минеральных взаимодействий необходимо учитывать при предсказании содержания углерода в почвах.

Работа осуществлена при поддержке тем государственного задания ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева" FGUR-2025-0003 (125042105327-8) 4, FGUR-2025-0004 (125042105333-9) 8.

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА: ПРИНЦИПЫ, ПОДХОДЫ И ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ

Семенов В.М.
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН имени В.А. Ковды – ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино
v.m.semenov@mail.ru

Почвенное органическое вещество (ПОВ) представляет собой гетерогенную, многокомпонентную и динамичную систему, выступая формой преобразования, накопления и долговременного хранения углерода. Фракционирование ПОВ является важным инструментом исследования его состава, трансформации, устойчивости и механизмов стабилизации углерода. Цель фракционирования состоит не столько в выделении строго обособленных природных компонентов, сколько в получении функционально значимых групп органического вещества, свойства которых могут быть связаны с определенными почвенными процессами. Современное представление о ПОВ сочетает пуловую и континуумную концепции. ПОВ рассматривается как совокупность различающихся по скорости оборота пулов, и как непрерывный ряд соединений и органо-минеральных ассоциаций. Стабилизация углерода определяется не только химической устойчивостью органических соединений, но и их физической

защитой в агрегатах, взаимодействием с минеральной матрицей, пространственным распределением в почве и особенностями микробного использования углерода.

Принципы фракционирования определяют методологические основания исследования. Выделяемые фракции не существуют в почве как обособленные природные структуры, а представляют собой группы органического вещества, границы и свойства которых зависят от выбранного критерия и процедуры разделения. Следовательно, фракцию нельзя непосредственно отождествлять ни с природно обособленным компонентом почвы, ни с пулом, ни с механизмом стабилизации. Процедура фракционирования должна основываться на четко установленном критерии, например, размере частиц, плотности, агрегатной принадлежности, химической реакционной способности или ином признаке. При последовательном использовании нескольких критериев каждый из них должен иметь четко определенную область применения и быть методически разграничен. Для сравнительных исследований особое значение имеет принцип единственного различия и методической сопоставимости. Если сравниваются почвы, экологические условия, типы землепользования или варианты воздействия, все параметры фракционирования должны оставаться одинаковыми. В ином случае различия во фракционном составе могут быть обусловлены не разными свойствами почв, а различиями в процедуре их выделения. Подходы к фракционированию задают направления и способы характеристики различных сторон ПОВ с использованием физических, химических, биологических, изотопных и методов математического моделирования и кинетического анализа. Конкретные методы реализуют выбранный подход посредством определенной процедуры разделения. Физическое фракционирование позволяет выделять дискретные органические частицы (POM) и минерально-ассоциированное органическое вещество (MAOM), характеризующие различные формы организации и этапы стабилизации углерода. Химические методы характеризуют растворимость и реакционную способность органического вещества; биологические – его доступность и трансформируемость; изотопные – происхождение и динамику углерода; симуляционные – параметры и пулы, различающиеся скоростью оборота. Эти подходы являются комплементарными, а не взаимозаменяемыми.

Выделяемые структурные (POM и MAOM) и процессные (потенциально-минерализуемое органическое вещество, микробная биомасса, перманганат-окисляемое органическое вещество) пулы могут быть связаны с различными механизмами стабилизации и скоростью трансформации углерода, однако такое соответствие не является однозначным. Например, POM и MAOM отражают, прежде всего, различия в организации и характере связи органического вещества с минеральной матрицей, тогда как потенциально-минерализуемый пул характеризуют доступность органического вещества микроорганизмам. Поэтому физически или химически выделенные фракции не следует напрямую отождествлять с определенным механизмом стабилизации, степенью устойчивости или скоростью трансформации органического углерода. Для установления механизмов стабилизации необходима комплексная интерпретация, учитывающая происхождение органического вещества, его

состав, минеральное окружение, доступность для микроорганизмов и скорость трансформации. К основным требованиям к методам относятся научная обоснованность, практичность, определенность и контролируемость признака фракционирования, минимальное изменение состава и свойств ПОВ в ходе процедуры, стандартизация условий, воспроизводимость, недопущение методических артефактов, сопоставимость результатов, обеспечение массового баланса и прозрачность описания процедуры. Методика должна однозначно определять критерий и границы выделения фракций, последовательность и условия разделения, способы количественной оценки и правила интерпретации получаемых показателей. При этом все параметры, способные влиять на результат, должны быть контролируемыми и одинаковыми для сравниваемых объектов. При интерпретации результатов необходима концептуальная нейтральность: МАОМ не следует автоматически считать стабильным углеродом, а РОМ – исключительно лабильным.

Таким образом, научная ценность фракционирования определяется не количеством выделенных фракций и не сложностью процедуры, а обоснованностью связи выделяемых фракций со свойствами и процессами ПОВ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН
№ 126031118706-8

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО ОПТИКО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ РАЗЛИЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО И ПРИРОДНОГО РАСТВОРЁННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Ларионов К.С.[1], Петров К.В.[1], Хрептугова А.Н.[1], Завьялова М.Г.[2,3], Николаев Е.Н.[2,3], Перминова И.В.[1]
[1]МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
[2]Институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича, Москва
[3]Сколковский институт науки и технологий (Сколтех), Москва
ks.larionov@mail.ru

Длительное хранение отходов целлюлозно-бумажного производства приводит к формированию сложных смесей растворённого органического вещества (РОВ), в которых признаки технического лигнина частично утрачиваются и перекрываются с природным фоном. Поэтому поиск одиночного молекулярного маркера недостаточен. Цель работы – разработка комбинированного оптико-масс-спектрометрического подхода для распознавания техногенного РОВ надшламовых вод Солзанского полигона и природного РОВ озера Байкал.

Оптическая выборка включала 103 образца (94 надшламовых и 9 байкальских), парная выборка для прямого сопоставления методов – 60 образцов из 16 независимых групп. Использовали 15 дескрипторов УФ видимой-спектроскопии и EEM-PARAFAC и 38 масс-спектрометрических признаков,

рассчитанных по числу молекулярных формул: глобальные характеристики, классы CHO/CHON/CHOS/CHONS, хемотипы и 20 областей диаграммы Ван-Кревелена D01–D20 в NOMspectra [1]. Модели оценивали в 30 повторениях трёхфолдовой вложенной групповой кросс-валидации.

Оптическая и молекулярная модели показали одинаковую сбалансированную точность 0,935, при этом ROC AUC составила 0,889 и 0,976 соответственно; объединение модальностей выигрыша не дало. После исключения абсолютных коэффициентов поглощения или их контроля по растворённому органическому углероду точность оптической модели сохранялась на уровне 0,925, что указывает на наличие композиционного сигнала помимо концентрационного эффекта. Для надшламовых вод были характерны повышенные доли CHOS-, carbohydrate-like формул и областей D14/D19, для байкальского РОВ – CHO, CRAM и D05/D08/D13/D17. Лигнинная область не проявляла специфичности к техногенному лигнину, подтверждая необходимость многопризнакового описания молекулярного профиля.

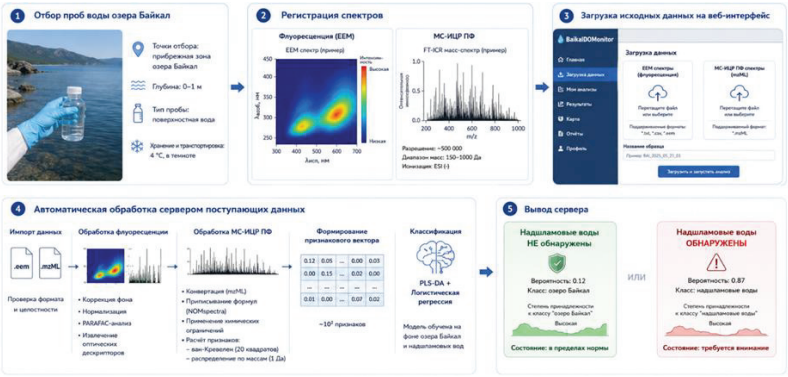


Рисунок 1 – концептуальная схема применения программно-аналитического комплекса для распознавания молекулярных сигнатур РОВ

Полученные результаты позволяют использовать оптические измерения как быстрый скрининговый уровень, а масс-спектрометрия сверхвысокого разрешения – для молекулярной характеризации источника РОВ. На этой основе предложена схема программно-аналитического комплекса, объединяющего загрузку спектральных данных, автоматизированную обработку и вероятностное распознавание источника РОВ (рис. 1). Для практического мониторингового применения необходимы внешняя валидация, контролируемые смеси и установление рабочих порогов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, грант 075-15-2024-533. Спектры МС ИЦР ПФ получены в ЦКП «Протеом человека» ИБМХ имени В.Н. Ореховича.

Список использованных источников

1. Volikov A., Rukhovich G., Perminova I.V. J. Am. Soc. Mass Spectrom. – 2023. – V. 34. – P. 1524-1527.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГУМИНОВЫХ И ФУЛЬВОКИСЛОТ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МЕТОДОМ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

Таридонова Е.Н., Хрептугова А.Н., Перминова И.В.
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Химический факультет, Москва, Россия
lena.taridonova@mail.ru

Согласно общепринятой классификации, гуминовые вещества (ГВ) подразделяют на гуминовые кислоты (ГК) и фульвокислоты (ФК) по их растворимости при pH < 2, а количественное соотношение содержания органического углерода в составе этих фракций ($C_{ГК}/C_{ФК}$) является важным показателем степени гумификации органического вещества. Определение $C_{ГК}/C_{ФК}$ основано на разделении ГВ на фракции ГК и ФК путем подкисления щелочного экстракта и определения органического углерода в составе фракций бихроматным титрованием или инструментальными методами, что делает определение данного показателя трудоёмкой и длительной процедурой. При этом отсутствуют методические работы по установлению влияния величины pH разделения, времени выдерживания растворов после подкисления и способа определения органического углерода на величину данного показателя. Принимая во внимание прогресс в области обработки спектральных данных для растворенного органического вещества, весьма перспективным представляется применение методов анализа сложных систем без их предварительного разделения. К таким подходам относится описанный в работе [1] метод спектрального анализа поглощения РОВ в шкале волновых чисел с аппроксимацией контура гауссовыми функциями. Целью работы являлся поиск экспрессного подхода к определению содержания ГК и ФК в составе ГВ при совместном присутствии методом спектрофотометрии без предварительного разделения фракций.

Для достижения поставленной цели использовали препараты нефракционированных ГВ, а также ГК и ФК из различных природных источников, а именно: почвы, торфа, угля, донных отложений и природной воды. Препараты выделены нашей рабочей группой. Всего в работе было использовано 63 препарата. Для 20 препаратов экспериментально определяли показатель $C_{ГК}/C_{ФК}$ путем разделения ГВ на фракции и определения содержания органического углерода. Для препаратов ГК и ФК регистрировали спектры поглощения и оценивали воспроизводимость измерений. Спектры обрабатывали двумя независимыми методами: рассчитывали интегральные спектральные дескрипторы спектров поглощения ГВ: $SUVA_{254}$, E_2/E_3 и Λ, характеризующие, соответственно, ароматичность, характер кислородных заместителей в кольце и вклад сопряженных структур. В дополнение к этому, для всех спектров выполняли деконволюцию на три компоненты согласно подходу, описанному в работе [1]. Для этого полученные спектры поглощения переводили из шкалы длин волн в энергетическую шкалу и аппроксимировали суммой трёх гауссовых компонент A_1, A_2 и A_3 [1]. Относительный вклад каждой компоненты определяли

по площади соответствующей гауссовой полосы. Полученные спектральные характеристики сопоставляли с экспериментально найденными значениями показателя $C_{ГК}/C_{ФК}$.

Согласно полученным данным, спектры препаратов ГВ из различных источников хорошо описывались суммой трёх гауссовых компонент. При этом наиболее существенные различия между образцами наблюдались для длинноволновой компоненты A_3, которая отражает наличие протяжённых сопряжённых систем и конъюгированных ароматических хромофоров, типичных для фракции ГК. Следует отметить, что при увеличении доли ГК в составе образца наблюдалось пропорциональное возрастание вклада компоненты A_3. Для выборки из 20 препаратов коэффициент детерминации для корреляционной взаимосвязи между вкладом A_3 и показателем $C_{ГК}/C_{ФК}$ составил 0,96. Для спектральных параметров Λ и E_2/E_3 также установлена менее тесная, но статистически значимая взаимосвязь с показателем $C_{ГК}/C_{ФК}$. Полученные взаимосвязи установлены при уровне доверительной вероятности более 99%.

Полученные результаты показывают перспективность использования спектрального анализа поглощения в шкале волновых чисел с аппроксимацией контура гауссовыми функциями для количественной оценки соотношения фракций ГК и ФК в водных растворах без предварительного химического фракционирования.

Исследование выполнено в рамках госзадания МГУ № 122040600057-3

Список использованных источников

1. Minquang Y., Mo S., Liu Z., Korshin G., Environ. Sci. Technol. – 2025. – V. 59. – P. 7156-7164.

СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ИССЛЕДОВАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА КУЛЬТУРНЫХ СЛОЕВ ГЕОАРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ

Ковалева Н.О., Столпникова Е.М., Ковалев И.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
natalia_kovaleva@mail.ru

Строительство земляных геоархеологических объектов приводит к консервации и выведению из биологического круговорота органического вещества в погребенных почвах и культурных слоях. Поэтому органическое вещество погребенных под земляными памятниками почвенных горизонтов становится надежным архивом информации о палеоэкологических событиях прошлого и способах хозяйствования. При этом чувствительным биомаркером происходящих изменений даже в коротких временных рядах выступаю стабильные изотопы углерода и азота, так как углерод-обменная система «воздух-растения-почва» напрямую зависима от типа фотосинтеза растений и способа питания домашних животных.

Одним из самых масштабных геоархеологических объектов южной части Русской равнины является Белгородская оборонительная черта, централизованное строительство которой началось в 1635 г и продолжалось почти двадцать лет и которая проходила по территории Сумской, Белгородской, Липецкой, Воронежской и Тамбовской областей, простираясь на расстояние около 800 километров. Целью данного исследования является реконструкция палеоэкологической обстановки степного пограничья Русской равнины в историческое время на основе анализа состава и содержания в почвах и культурных слоях геоархеологических объектов черты стабильных изотопов углерода и азота.

Объекты исследования (2023-2024 гг.) расположены в Тамбовской и Воронежской областях: Тамбовский, Козловский, Урляпов и Острогожский участки земляных оборонительных укреплений черты и расположенные вблизи них стоялые городки, поселения служилых людей, острожки и пр. Хронокатены почв состоят из фоновых агрочерноземов на пашне, темно-серых лесных почв под пологом лесов, погребенных под насыпями валов черноземов, черноземов гидрометаморфизированных в днище оборонительных рвов и черноземов 400-летнего возраста на вершине валов, стратоземов селищ и стоялых городков.

В почвах определялось содержание гумуса методом Тюрина, магнитная восприимчивость (χ) - полевым каппаметром. Определение изотопного состава углерода ($\delta^{13}C$) и азота ($\delta\ ^{15}N$) органического вещества почв выполняли в одно- и двухкратной повторности после удаления корней, детритовых включений и карбонатов. Измерения проводили в Институте проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН с помощью масс-спектрометра Termo-Finnigan Delta V Plus. Полученные результаты выражены в промилле (‰) по отношению к стандарту. Возраст погребенных почв и культурных слоев определялся археологическим методом и методом радиоуглеродного датирования.

Показано, что стабильные изотопы азота могут служить маркером присутствия домашних животных, а именно: навоза крупного рогатого скота, свиного навоза или птичьего помета, так как использование удобрений животного происхождения увеличивает величину $\delta\ ^{15}N$ на 2 - 8‰ (крупный рогатый скот), 15 - 20 ‰ (свиной навоз), 10 - 40 ‰ (помет птиц). Вспашка, обработка почвы или сенокошение утяжеляет величины $\delta^{13}C$ из-за смены естественной растительности на культурные злаки как С-3, так и С-4 типов фотосинтеза. Биомаркером пастбищной нагрузки выступает увеличение значений как $\delta^{15}N$, так и $\delta^{13}C$. Изотопные отношения углерода и азота также оказались перспективными диагностическими показателями подсечно-огневого земледелия, так как значения $\delta^{15}N$ почвы и растительности в течение нескольких лет после выжигания увеличиваются. Разница величин последних между невыгоревшей подстилкой и почвой после пожара составляет от 2 до 8‰.

Установлено, что вариации изотопного состава почв и культурных слоев геоархеологических памятников позволяют выявить этапы стабильного почвообразования на поверхности насыпей и этапы подсыпки сооружений. Изотопные отношения облегчаются в органическом веществе гумусовых горизонтов почв и культурных слоев, определяя минимумы величин $\delta\ ^{13}C$, и утяжеляются в слоях подсыпки, фиксируя максимумы последних. Несмотря на

преимущественное распространение травяной растительности на поверхности памятников, изотопная подпись погребенных почв отражает тип господствующей зональной растительности и через особенности типа фотосинтеза позволяет реконструировать климат региона различных хронологических срезов памятника.

«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-68-00011, https://rscf.ru/project/24-68-00011/»

УГЛЕРОД ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ: СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВО ВНУТРИЛАБЛОРАТОРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Толстоусова С. А., Симонова Ю. В.
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
*st090435@student.spbu.ru

Согласно прогнозным оценкам ФАО при сохранении текущих климатических тенденций площадь распространения засоленных почв в ближайшее время может увеличиться на треть, в связи с чем мониторинг засоления почв и содержания в них углерода имеет важное значение. Методическому обеспечению определения содержания углерода почвенного органического вещества (Сорг) с целью гармонизации мониторинговых исследований последнее время уделяется много внимания, однако литературных данных, обсуждающих вопросы и ограничения при определении Сорг в засоленных почвах крайне мало. Основным ограничением при работе с засоленными почвами является мешающее влияние солей (в частности Cl^-), которые предположительно должны завышать истинное значение Сорг.

Нами были проанализированы 39 образцов гумусовых и прогумусированных горизонтов засоленных почв, более трети из которых являются карбонатными. Содержание солей в изученных почвах составило от 0.14 до 2.44%. Помимо состава солей и содержания карбонатов в образцах было определено содержание Сорг тремя общепринятыми методами: методом сухого сжигания с помощью CHN-анализатора LECO, методом Тюрина (t = 140 °C, термостатирование, $\tau = 20$ мин, титрование солью Мора), методом Уолкли – Блэка с колориметрическим окончанием. При определении Сорг на CHN-анализаторе в карбонатных почвах его значение рассчитывали по разности между общим содержанием углерода и углерода карбонатов.

Сравнительный анализ результатов Сорг разными методами показал, что в 2/3 случаев значения Сорг, определенные прямым методом с помощью CHN-анализатора, были выше, чем определенные методом Тюрина. Значения Сорг, определенные методом сухого сжигания, лежали в интервале 0.24–20.00% при среднем значении 3.86%; определенные методом Тюрина – в интервале 0.26–16.33% при среднем значении 3.58%. В большинстве случаев метод Уолкли – Блэка показывал более низкие значения по сравнению с остальными методами (30 образцов из 39), от 0.18 до 7.39% при среднем значении 2.17%.

Корреляционный анализ выявил статистически значимую ($p = 0.01$) связь между значениями Сорг, полученными всеми методами. Наиболее тесная корреляционная связь обнаружена между значениями Сорг, полученными с помощью CHN-анализа и методом Тюрина ($R = 0.96$). Коэффициент корреляции R между результатами CHN-анализа и методом Уолкли – Блэка составил 0.9; между методом Тюрина и Уолкли – Блэка – 0.87.

Важной метрологической характеристикой метода измерения является точность, определяемая как относительная ошибка (RSD). Точность измерения Сорг на CHN-анализаторе, согласно документальным характеристикам прибора, высокая и составляет 0.5%. Для остальных двух методов RSD, рассчитанные нами на основании трехкратной повторности измерений, оказались значительно выше. При определении методом Тюрина в 1/3 случаев (13 образцов из 39) RSD превышала 10% даже при увеличении кратности повторных измерений. Минимальные значения RSD составили 0.5%, максимальные достигали 26%. Величина RSD метода Уолкли – Блэка превышала 10% в половине образцов и варьировала от 0.6 до 30%. Причем RSD возрастала для более низких величин Сорг, что установлено статистически значимой сильной отрицательной корреляционной связью ($R = –0.7$) величины RSD и содержанием Сорг.

Между общим содержанием солей в почвах и величинами Сорг сильной корреляционной взаимосвязи выявлено не было ($R = 0.4$). Между содержанием Cl^- и величинами Сорг какой-либо статистически значимой связи не установлено. Это может быть обусловлено преобладанием сульфатного и хлоридно-сульфатного типа засоления в изученном ряду почв при невысоком содержании Cl^-. Наиболее сильная статистически значимая связь на уровне $R = 0.5–0.7$ установлена между Сорг и SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}. Таким образом, при сульфатном и хлоридно-сульфатном засолении влияния присутствия Cl^- на величину Сорг не выявлено.

Для определения Сорг в засоленных почвах применимы все рассмотренные методы, однако метод Уолкли – Блэка с колориметрическим окончанием отличался более низкими значениями Сорг и меньшей точностью.

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ АГРОГЕНЕЗА

Колчанова К.А., Борисочкина Т.И., Матвеева Н.В.
ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», Москва,
kolchanovakseniia@yandex.ru

Введение. Дерново-подзолистые почвы, являясь одним из наиболее распространенных типов почв южнотаёжной подзоны, занимают значительные площади и подвергаются систематическому агрогенному воздействию в результате сельскохозяйственного освоения. Трансформация почв в таких условиях сопровождается изменением не только количественных, но и

качественных параметров состояния почвенного органического вещества (ПОВ). Для оценки этих качественных изменений необходимо внедрение новых методов исследования. В качестве такого метода может выступать термогравиметрический анализ (ТГА) - высокоинформативный экспресс-метод, позволяющий исследовать образцы почв в нативном состоянии без предварительной химической экстракции. При этом, ТГА хорошо сочетается с физическим фракционированием: так выделение гранулометрических фракций седиментометрическим методом не сопровождается химической деструкцией компонентов ПОВ, что даёт возможность оценить его состояние непосредственно в различных по размеру органо-минеральных фракциях. Целью данной работы является выявление закономерностей изменения термостабильности органического вещества дерново-подзолистой почвы в условиях агрогенеза на уровне гранулометрических фракций.

Объекты и методы. Объектами исследования являются дерново-подзолистая супесчаная почва (лес - участок, не затронутый сельскохозяйственной деятельностью), пахотная почва без внесения удобрений (пашня) и пахотная почва с длительным (1968-2024гг.) внесением подстилочного навоза в количестве 20 т/га в год (пашня с внесением навоза). Из верхнего горизонта почвенных образцов методом седиментометрии были выделены гранулометрические фракции: ил (<0,001 мм), мелкая пыль (0,001–0,005 мм), средняя пыль (0,005–0,01 мм), остаточная (0,01–0,25 мм) и фракция >0,25 мм. Определение термических характеристик почв проводилось на термическом анализаторе STA 449 F5 Jupiter. Изменения массы и фазовые переходы учитывали в температурном интервале от 40°C до 800°C в атмосфере аргон - кислород (80/20), скорость нагрева составляла 10°C /мин. Содержание общего углерода было определено на анализаторе CS 8020.

Результаты и обсуждение. Содержание $C_{орг}$ в образцах почвы составляет 0,16%, 0,6% и 1,02% для леса, пашни без удобрений и пашни с внесением навоза соответственно. По данным T_{50} термостабильность, почвенных образцов возрастает в ряду лес (342^0C) < пашня с внесением навоза (358^0C) < пашня без удобрений (374^0C), а потеря массы в этом ряду убывает 4,12% > 2,34% > 1,62%. Это свидетельствует о том, что ненарушенная лесная почва накапливает преимущественно термолабильное органическое вещество за счет постоянного притока свежего растительного опада. Длительное сельскохозяйственное использование без внесения удобрений приводит к накоплению термостабильных фракций ПОВ: термолабильные фракции служат более доступным источником энергии для микробиоты и разлагаются в первую очередь. Внесение навоза приводит к увеличению содержания ПОВ в пахотной почве. Обогащение происходит в основном за счет легкоминерализуемых фракций, а общая термостабильность образца снижается. Результаты анализа гранулометрических фракций показали, что для всех вариантов эксперимента с уменьшением размера частиц увеличивается удельная теплота сгорания, содержание $C_{орг}$, лабильной и стабильной фракции ПОВ. Для гранулометрических фракций, выделенных из образцов лесной почвы и пашни без внесения удобрений, наблюдалась следующая закономерность: термостабильность убывает с уменьшением размера частиц фракции. В тонких фракциях ПОВ сорбируется на поверхности глинистых

минералов и входит в состав устойчивых органоминеральных комплексов, для термической деструкции которых требуется более высокая температура. Дополнительный вклад может вносить пространственная изоляция органического вещества в микроагрегатах и аккумуляция в илистой фракции устойчивых микробных метаболитов. Крупные фракции содержат преимущественно свежий растительный более термолабильный материал. В варианте с внесением навоза максимальная термостабильность органического вещества отмечается во фракциимелкой пыли (0,001–0,005 мм), где T_{50} достигает 387–388 °C.

Заключение. Термогравиметрия в сочетании с гранулометрическим фракционированием выступает эффективным инструментом диагностики качественного состояния ПОВ дерново-подзолистых почв позволяя количественно оценивать соотношение лабильных и стабильных пулов. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации систем удобрения и оценки устойчивости ПОВ к агрогенному воздействию.

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ H_2O_2 НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТОРФА ПО ДАННЫМ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ТИТРОВАНИЯ

Дорожко Е.Ю., Крайко В.М., Ануфриева Е.В., Дудникова Е.Л., Янута Ю.Г.
Институт природопользования Национальной Академии наук
Республики Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь
eliz.dorozhko@gmail.com

Введение. Торф – природная органоминеральная матрица, кислотно-основные и сорбционные свойства которой определяются содержанием карбоксильных (–COOH) и фенольных (–OH) групп гуминовых веществ. Обработка пероксидом водорода генерирует гидроксильные радикалы, окисляющие органические фрагменты до дополнительных кислотных центров. Целью работы являлось установление влияние H_2O_2 на функциональный состав низинного и верхового торфа методом потенциометрического титрования [1].

Объекты и методы исследований. Объектами исследований выступили исходные и обработанные H_2O_2 навески низинного и верхового торфов. Потенциометрическое титрование проводили последовательно с использованием двух областей титрования: кислая область для определения карбоксильных групп с помощью титранта 0,1M HCl до pH = 2, затем щелочная область для определения гидроксильных групп с помощью 0,1M NaOH до pH = 12. Точки эквивалентности находили по максимуму первой и переходу через ноль второй производных.

Обсуждение результатов. Кривые титрования содержат две области: скачок при pH 4–7 (карбоксильные группы) и плавный рост при pH 8–11 (фенольные). После обработки H_2O_2 скачок COOH сдвигается в сторону больших объёмов NaOH, тогда как область OH практически не меняется (Рисунок 1).

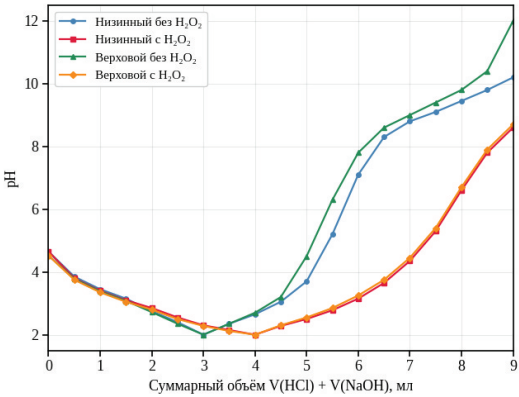


Рисунок 1 – Кривая потенциометрического титрования

Окислительная модификация H_2O_2 увеличивает содержание карбоксильных групп в 1,8–2,2 раза, тогда как количество фенольных гидроксилов возрастает незначительно (в 1,3–1,7 раза). Это указывает на селективный механизм окисления: гидроксильные радикалы преимущественно атакуют спиртовые и альдегидные фрагменты алифатических цепей, превращая их в карбоксильные группы, тогда как ароматическое ядро гуминовых кислот остаётся устойчивым к окислению в данных условиях. Низинный торф характеризуется исходно более высоким содержанием обеих групп по сравнению с верховым, что отражает его более высокую степень гумификации, ароматизации и обогащённость гуминовыми кислотами.

Выводы. Обработка H_2O_2 селективно увеличивает содержание карбоксильных групп торфа в 1,8–2,2 раза при незначительном изменении фенольных, что повышает его ионообменную и комплексообразующую способность. Окислительная модификация является эффективным способом направленной функционализации торфа для получения природных сорбентов и мелиорантов.

Список использованных источников

1. Крайко В.М., Дударчик В.М., Янута Ю.Г., Ануфриева Е.В., Дорожко Е.Ю., Навоша Ю.Ю. Физико-химическая характеристика продуктов окислительной деструкции торфов. Природопользование. – 2025. – Vol. (2). – P. 172-181.

СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ ГУМИНОВЫХ И ФУЛЬВОКИСЛОТ ИЗ ОКИСЛЕННЫХ БУРЫХ И КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

Вотолин К.С., Жеребцов С.И.
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
votolin_ks@mail.ru

Практический интерес вызывают исследования состава, свойств и характеристик препаративных форм гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК), полученных из естественно окисленных бурых и каменных углей, которые в настоящее время считаются отходом угледобычи.

В качестве объектов исследования были выбраны ГК и ФК, полученные из образцов неокисленных и естественно окисленных бурых (марки 1Б и 2Б) и каменных углей (марки длиннопламенный (Д) и газовый (Г)) различных угольных бассейнов РФ: Канско-Ачинский, Южно-Уральский и Кузнецкий угольные бассейны.

Установлено, что ГК и ФК во многом наследуют характеристики неокисленных и окисленных углей марок 1Б – 2Б – Д – Г: особенности радикальной структуры (ЭПР), элементного и структурно-группового состава. В результате ГК и ФК, выделенные из окисленных углей, демонстрируют повышенное содержание кислорода и концентрацию парамагнитных центров по сравнению с неокисленными аналогами. Значения вычисляемых по результатам ^{13}C ЯМР (CP/MAS) - спектроскопии структурно-групповых параметров образцов исходных углей и выделяемых ГК имеют прямую зависимость: коэффициент детерминации R^2 для параметра «степень ароматичности» f_{ar} – 0,85, для параметра «гидрофильность/гидрофобность» $f_{h/h}$ – 0,81. Структурно-групповой состав ФК слабо зависит от состава углей и более однороден. Это подтверждается результатами ИК-Фурье спектроскопии. Данную особенность можно использовать для подбора исходного сырья и прогнозирования состава получаемого продукта.

Методом динамического рассеяния света (ДРС) установлено, что коллоидные системы ацетоновых и водных растворов ГК и ФК представляют собой преимущественно нанодисперсные системы, характеризующиеся бимодальным (реже три- и мономодальным) распределением частиц по размерам в нанодиапазонах (от 32±9 до 782±320 нм) и субмикродиапазонах (от 3948±1225 до 5345±517 нм). Дзета-потенциал растворов ГК и ФК характеризуется отрицательными значениями (для ГК от -27 до -115, для ФК от -18 до -60 мВ), что свидетельствует об их относительной нестабильности и склонности к агрегации. Обычно величина дзета-потенциала для растворов ГК имеет более низкое значение при наличии более крупных агрегатов в сравнении с растворами ФК в тех же концентрациях. Например, для исследуемых 0,0005% водных растворов размеры агрегатов находятся в двух диапазонах: для ГК – 161±96 и 5345±517 нм, для ФК – 58±14 и 5137±554 нм. С увеличением концентрации ацетоновых и водных растворов ГК и ФК наблюдается снижение дзета-потенциала, агрегация и

укрупнение частиц, что может приводить к снижению их подвижности, осаждению, уменьшению реакционной способности и биологической активности.

Для бурых углей было установлено, что ГК и ФК, извлечённые из неокисленных углей, демонстрируют повышенную склонность к агрегации при увеличении концентрации водных растворов по сравнению с ГК и ФК, полученными из окисленных аналогов. Как итог, в концентрированных растворах ГК и ФК, извлеченных из неокисленных бурых углей, происходит формирование относительно более крупных агрегатов. Размеры частиц в растворах ГК и ФК, полученных из окисленного каменного угля марки Д, сопоставимы с буроугольными аналогами. Растворы ГК и ФК из окисленного каменного угля марки Г отличаются содержанием частиц меньшего размера при сравнении с образцами из углей марок Б и Д.

Работа выполнена с привлечением оборудования ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН в рамках государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 126031018574-4).

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЛНОТЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЕРОДА ИЗ ЧЕРНОЗЕМОВ МЕТОДАМИ ТРАДИЦИОННОГО И ГУМИОМНОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ

Агапова С.Е., Степанов А.А.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, stasiyboom@gmail.com

Введение. Достоверный учет баланса почвенного углерода - важнейшая задача биосферного мониторинга. Массовые оценки гумусового состояния почв России традиционно базируются на классических щелочных вытяжках. Появление концепции гумиомики (Humeomics), предлагающей иные принципы экстракции, требует строгого количественного сопоставления выходов углерода для определения границ применимости данных методов. Цель работы - провести сравнительный статистический анализ полноты извлечения (Сорг.) из выщелоченного чернозема классическим и гумиомным методами.

Объекты и методы исследований. Исследовали пробы гумусового горизонта выщелоченного чернозема тяжелосуглинистого (Липецкая область, многолетняя залежь). Общее содержание углерода почвенной матрицы определяли мокрым сжиганием по Тюрину. Фракционирование углерода проводили в трехкратной повторности двумя методами: традиционным по Тюрину в модификации Пономаревой-Плотниковой (с использованием 1М NaOH) и альтернативным методом гумиомики в двух вариациях автора (методики последовательной экстракции 1996 и 2001 гг.). Статистическую обработку выходов проводили с построением диаграмм размаха.

Обсуждение результатов. Среднее исходное содержание общего (Сорг.) в черноземе составило 3,49%. Массив данных фракционирования продемонстрировал полярную эффективность исследуемых аналитических

подходов. Применение метода Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой обеспечило наиболее высокий и стабильный выход органического вещества - в среднем 55,5% от общего почвенного углерода (вариация по повторностям: 50,5%, 53,1% и 62,9%).

Инновационные методики гумиомики показали критически низкую полноту извлечения углерода. Средний выход по схеме гумиомики (2001 г.) составил 28,6%. Ранняя схема гумиомики (1996 г.) извлекла лишь 12,8% от общего углерода матрицы. Статистический анализ с помощью диаграмм размаха выявил, что медиана и «ящик» метода Тюрина смещены к верхней границе (отрицательная асимметрия, 75% образцов имеют высокий выход). Распределение гумиомики-1996 обладает положительной асимметрией (75% данных в нижней границе диапазона), что указывает на ее аналитическую ненадежность. Схемы гумиомики не способны дезинтегрировать прочные глино-гумусовые комплексы черноземов и переводят в раствор лишь узкую, слабосвязанную фракцию лабильного гумуса.

Выводы.

1. Метод Тюрина в модификации Пономаревой-Плотниковой является базовым и наиболее достоверным инструментом оценки фракционно-группового состава черноземов (средний выход - 55,5%), что делает его приоритетным для целей почвенно-экологического мониторинга.

2. Низкая экстрагирующая способность методов гумиомики (выход углерода в пределах 12,8–28,6%) исключает возможность их использования для объективной оценки общих запасов почвенного органического вещества.

^{13}C ЯМР-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ И ИХ СВЯЗЬ С НАКОПЛЕНИЕМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ КАТЕНЫ ПОСТГЛЯЦИАЛЬНОГО ЛАНДШАФТА НА ПРИМЕРЕ ГОРЫ ЭЛЬБРУС

Кушнов И.Д.[1], Абакумов Е.В.[1], Филимоненко Е.А.[2]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
[2]Научно-технологический университет «Сириус», федеральная территория «Сириус», Россия
i.kushnov@spbu.ru

Изменение климата, происходящее в горных регионах быстрее, чем в среднем на планете, и усиление антропогенного воздействия на экосистемы, являются драйверами изменения ландшафтов и почв высокогорных территорий. Антропогенное поступление тяжелых металлов (ТМ) при накоплении и трансформации органического вещества в почвах, формирующихся при отступлении горных ледников, определяет необходимость изучения взаимодействия между органическим веществом и ТМ в почвах. Важным сорбентом тяжёлых металлов в почвах являются гуминовые кислоты (ГК). Сорбция ТМ происходит через карбоксильные, фенольные и ароматические

функциональные группы. Целью работы является характеристика молекулярной структуры ГК и её влияния на геохимические критерии накопления Cu, Zn, Ni, Pb, Cd в постгляциальных почвах .

Отбор почв проводился в августе 2025 г. вдоль катены северного склона горы Эльбрус (Центральный Кавказ) в долине р. Кызыл-Кол. Катена (3120 – 2550 м н.у.м.) включала приледниковые литоземы грубогумусовые на моренных отложениях, органо-аккумулятивные почвы на моренных отложениях и пойменные органогенные почвы. В почвах определяли валовое содержание Cu, Zn, Ni, Pb, Cd методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Квант-2М для последующего расчета геохимических индексов: кумулятивного коэффициента загрязнения (PLI) и индивидуальных факторов загрязнения (Cf). Из почв были выделены гуминовые кислоты (ГК) по протоколу IHSS с последующим определением в них содержаний C, N, H, и молекулярной структуры с помощью твердотельной ^{13}C ЯМР-спектроскопии. Статистическая обработка экспериментальных данных основана на применении метода главных компонент и иерархического кластерного анализа.

PLI, характеризующий уровень превышения содержаний ТМ в изученных почвах относительно регионального фона, выявил рост геохимической нагрузки вдоль катены: PLI для литоземов меньше 1, тогда как для пойменных почв он превышает 3, при этом наибольший вклад в его величину вносит медь (Cf-Cu = 9,2). Превышение содержаний Ni в почвах катены относительно регионального фона составляет до 7 раз в горизонте C, что, вероятно, обусловлено локальным литогенным фактором – формированием почв на ультраосновных породах. Повышенное (до 4-9 раз) относительно регионального фона содержание меди и свинца, напротив, вероятно, обусловлено высотным «холодным осаждением» атмосферных пылевых частиц в связи с максимальными значениями ТМ в верхних горизонтах.

Молекулярная структура ГК усложняется по мере удаления почв от края ледника с увеличением ароматических групп органического вещества. На основе метода главных компонент установлено, что, дисперсия молекулярной структуры ГК описывает двумя факторами. Первый фактор, объясняющий 72% дисперсии, связан с градиентом зрелости ГК, и значимо коррелирует с содержанием меди ($r = 0,70$) и цинка ($r = 0,63$) в почвах. Это подтверждает ведущую роль карбоксильных и ароматических групп органического вещества почв в иммобилизации Zn и Cu. Второй фактор, объясняющий 21% дисперсии молекулярной структуры ГК, связан с дифференциацией внутреннего окислительного статуса ГК. Содержания свинца и кадмия в почвах увеличиваются с ростом отношения доли неполярных алифатических фрагментов к кислород- и азотзамещённым группам. Это указывает на связывание Pb и Zn кислородсодержащими функциональными группами, как ароматическими, так и алифатическими. Степень окисления органического вещества снижается от -0,24 у литоземов до -0,51 у пойменных почв, отражая восстановительные условия накопления метоксильных фрагментов.

По результатам кластерного анализа были выделены три группы почвенных горизонтов: (1) горизонты субгляциальных и постгляциальных почв с незрелыми ГК и низким накоплением ТМ; (2) хорошо дренированные горизонты органо-

аккумулятивных почв с промежуточной степенью гумификации органического вещества и умеренной иммобилизацией ТМ; (3) гидроморфные горизонты пойменных почв и отдельные горизонты органо-аккумулятивных почв с преобладанием метоксильных фрагментов в составе ГК и максимальным накоплением меди.

Таким образом, позиция в ландшафте и дренажный режим во многом регулируют степень гумификации органического вещества почв, что опосредовано определяет миграцию и накопление ТМ. Структурная зрелость ГК является значимым педогенетическим фактором накопления ТМ, в особенности цинка и меди, в почвах постгляционных ландшафтов Эльбруса. Приледниковые литоземы имеют низкую сорбционную емкость в отношении ТМ, а пойменные органогенные почвы, напротив, являются основной зоной накопления ТМ вследствие гидроморфного концентрирования, флювиогляциальной связанности и антропогенного влияния.

Исследование выполнено при поддержке проекта «Стабилизация и дестабилизация органического углерода в почве в контексте глобальных изменений», реализуемого в рамках государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (№20-03 от 01.06.2026)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ИСПУСКАНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОЧВ В МЕНЯЮЩЕЙСЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ

Бажина Н.Л., Дергачева М.И.
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск
natasha-bazhina@mail.ru

Введение. Флуоресцентная спектроскопия постепенно становится широко применяемым методом, позволяющим оценивать состояние гуминовых кислот (ГК) в почвах и палеопочвах разного возраста и географической локализации, и отслеживать изменение их свойств в пространстве и во времени [1].

Количественные параметры флуоресценции гуминовых кислот являются удобными, легко определяемыми и требующими миллиграммовых количеств препарата индикаторами состояния и изменчивости почв, как при влиянии на них смены природных условий, так и при трансформации под влиянием антропогенных воздействий [1].

Объекты и методы исследований. Обсуждаемые в настоящем сообщении объекты исследования представлены гуминовыми кислотами, выделенными из более, чем 500 образцов почв, как верхних частей профилей, так из полнопрофильных разрезов, локализованных в ряде районов Евразии: Горного Алтая, Тувы, Забайкалья, тундровых и северотаёжных районов Сибири, степных районов ЕТР и юга Сибири, а также из разновозрастных палеопочв разной локализации. Кроме того, использованы ГК, выделенные из почв с/х назначения

при разных нагрузках: севообороте, использование разных удобрений, длительности орошения.

Гуминовые кислоты выделялись общепринятым методом [2] без проведения жесткой очистки от минеральных компонентов с использованием 6n HCl и/или HF+HCl, поскольку такие способы влияют на структурные особенности ГК [3]. Спектры флуоресценции испускания снимались на сканирующем спектрофлуориметре Cary Eclipse Fluorescence spectrophotometer (Agilent, США) в диапазоне волн 360–650 нм, при использовании волны возбуждения 330 нм, растворов с концентрацией ГК, равной 0,01% с pH 13 и кюветы 1 $см^2$. Обязательным условием является заполнение кюветы, таким образом, чтобы мениск отсутствовал.

В качестве индикатора состояния ГК почв, сформированных и функционирующих в разных условиях природной среды, использовались количественные параметры, рассчитываемые по спектрам флуоресценции испускания: положение максимума флуоресценции (λmax), величина первого момента M_1, представляющая собой средневзвешенное значение частоты контура флуоресценции, которая рассчитывается по формуле предложенной Паркером [4], коэффициента α, представляющий собой соотношение интегральных интенсивностей флуоресценции испускания в областях максимального проявления в длинноволновой и коротковолновой областях спектра, а также коэффициент дисперсности (k_d), рассчитываемый по разнице между M_1 и величиной длины волны λmax. Для выявления направленности изменений флуоресцентных свойств гуминовой кислоты при смене состояния условий функционирования ГК использовали монофакторный анализ.

Результаты исследований. Установлено, что количественные показатели спектров флуоресценции испускания ГК целинных почв, сформированные в разных природных условиях, имеют разные диапазоны их величин и четкие связи с другими количественными характеристиками ГК, полученными независимыми методами (элементный состав, оптические свойства видимой области спектра, ЯМР ^{13}C и др.). Диапазон параметров ГК почв разной географической локализации – λmax, M1, α соответственно лежит в пределах 420–500 нм, 440–520 нм, 0,5–3,0, оценка достоверностей различий ГК почв неодинаковых условий формирований по Стьюденту не выявила достоверных случаев. Коэффициенты корреляции этих параметров ГК с другими перечисленными показателями, отражающими особенности молекулярных характеристик ГК, показали тесную связь между ними (r=0,75…0,98). Изменчивость параметров флуоресценции испускания ГК с/х почв при разных по времени (от 3–6 лет до 50 лет и более) и неодинаковых воздействиях (целина, бессменный пар, посевы многолетних трав, залежь) четко фиксируется в общем абрисе спектра, дисперсности ГК (k_d) и, особенно, в величине коэффициента α. В палеопочвах разного возраста и географической приуроченности показатели флуоресценции ГК, как и в современных почвах, имеют тесную связь с другими молекулярными показателями ГК, которые при любых обстоятельствах не выходят за их типовые границы.

Кроме того, и в почвах и палеопочвах обсуждаемые молекулярные показатели ГК тесно коррелируют с параметрами биоклиматических условий, что

позволяет использовать их при диагностике и реконструкциях природной среды их формирования.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН.

Список использованных источников

1. Бажина Н.Л., Дергачева М.И. Флуоресцентные свойства гуминовых кислот почв разных условий формирования // Почвы и окружающая среда. 2021. Т. 4. № 4. Е167.
2. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 272 с.
3. Тихова В.Д., Фадеева В.П., Дергачева М.И., Шакиров М.М. Исследование кислотного гидролиза для анализа состава гуминовых кислот разного генезиса // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. № 1. С. 1841–1846.
4. Паркер С. Введение в фотолюминесценцию растворов. М.: Иностр. лит., 1968. 156 с.

ОЦЕНКА СОСТАВА ВОДОЭКСТРАГИРУЕМОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ МЕТОДОМ ТЕРМОХИМОЛИЗА

Фарходов Ю.Р., Холодов В.А., Семенов М.В.
ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва
yulian.farkhodov@esoil.ru

Оценка молекулярного состава почвенного органического вещества (ПОВ) ограничена возможностями аналитических методов. Классические подходы (ИК, УФ, флуоресцентная, ЯМР спектроскопия) характеризуют функциональные группы и сложность молекул, но не дают точного молекулярного состава, что затрудняет понимание механизмов и построение точных прогнозных моделей трансформации ОВ. Перспективным решением является термохимолиз – дериватизация (метилирование) функциональных групп ОВ при высоких температурах с последующим хроматографированием и детектированием дериватов. Его преимущества перед силилированием – доступность дериватизирующего агента и простота пробоподготовки, что упрощает массовые анализы; метод позволяет проводить нецелевой анализ ПОВ, необходимое для понимания трансформационных изменений широкого спектра соединений. В эксперименте по термохимолизу ВЭОВ идентифицировано 64 соединения, разделённых на пять групп: полифенолы и их производные, жирные кислоты, сахара, МАУ, белки и их производные. Наиболее представлены жирные кислоты (46 соединений), наименее – белки (1); полифенолы – 8, МАУ – 8, сахара – 5. МАУ выделены в отдельную группу, поскольку не являются типичными компонентами ВЭОВ и образуются в процессе термохемолиза. Показано, что температура термохимолиза – ведущий фактор дисперсии данных: с её ростом дисперсия между объектами снижается, что указывает на разрушение специфических молекул с образованием неспецифических пиролизатов. При 500 °C эффективнее

дериватизируются полифенолы, жирные кислоты и сахара; при 700 °C растёт эффективность дериватизации аминокислот и содержание продуктов термической деструкции ОВ. Различия состава ВЭОВ чернозёма и дерново-подзолистой почвы также связаны с этими группами соединений, что подчёркивает роль азотсодержащих молекул в формировании ОВ чернозёмов. Таким образом, показана перспективность термохимолиза для оценки вещественного состава ВЭОВ; для широкого применения метода необходимо продолжить методическую работу по оценке влияния различных условий термохимолиза, провести ряд метрологических измерений и разработать методические приёмы, упрощающие процесс анализа.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Механизмы микробного преобразования секвестрированного углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2025–0011).

ОПТИЧЕСКИЕ ИНДЕКСЫ РАСТВОРЁННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОАГУЛЯЦИИ

Хасанов Э.М.[1], Вождаева М.Ю.[1,2], Холова А.Р.[2], Серебряков П.В.[2], Мельницкий И.А.[2], Кантор Е.А.[2]
[1]ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа
[2]ГУП РБ«Уфаводоканал», г. Уфа
xacahow1102@mail.ru; vozhdaevamu@uwc.ufanet.ru

Эффективность удаления природного органического вещества (ОВ) во время водоподготовки на стадии коагуляции определяется как общим содержанием ОВ, так и его молекулярно-структурными характеристиками. Гидрофобные высокомолекулярные гуминовые кислоты эффективно удаляются сульфатом алюминия (СА), в отличие от гидрофильной низкомолекулярной фракции (фульвокислоты (ФК), альгогенные экзополимеры), которая эффективно коагулируется оксихлоридом алюминия (ОХА). Наиболее сложными с точки зрения водоподготовки являются периоды высокой цветности воды с повышенным содержанием гидрофильного ОВ при низкой мутности, вызванной сезонными явлениями (летние паводки, почвенные смывы, взмучивание донных отложений). В работе предложена система для определения типа ОВ, природы цветности (ЦВ) воды, необходимости перехода на соответствующий тип коагулянта с использованием оптических индексов.

Работа выполнена на массиве ежедневных наблюдений за качеством воды р. Уфы за двухлетний период. Растворённый (РОУ) и общий органический углерод (ООУ) измеряли на элементном анализаторе ТОПАЗ NC, оптическую плотность – на спектрофотометре Pharo 300 при λ = 254, 280, 365, 430 нм, ЦВ – на спектрофотометре DR 5000, мутность – на мутномере лабораторном 2100 AN.

Нами модифицирован показатель гумусности Hum [1] в Hum_C, который отражает более широкий спектр ОВ, влияющих на эффективность коагуляции $Hum_C = \sqrt{(ЦВ \times РОУ)}$. Индекс автохтонности Р(авт) рассчитывали по соотношению Р(авт) = 1,6 × (ООУ/Hum_C) − 0,35, коэффициент партикулярности m = ООУ/РОУ, SUVA254 = А254/РОУ. Также оценивались спектральные отношения согласно: А254/А365 < 3,0 и А365/А430 < 2,0 – преобладание высокомолекулярных конденсированных гуминовых кислот, А254/А365 > 4,0 и А254/А430 > 10 – доминирование низкомолекулярных окисленных ФК и автохтонной органики [2].

Анализ данных позволил выделить четыре диагностические зоны качества исходной воды, каждая из которых требует определенного технологического режима:

Зелёная зона (штатный режим) – Hum_C = 4-7, Р(авт) = 0,6-1,0, m = 1,1–1,3, ЦВ < 15°, SUVA254 < 0,20 при РОУ ≥ 3 мг/дм³, А254/А430 > 10. Наблюдается в зимнюю межень и в фоновые летне-осенние периоды, когда ОВ полностью растворено, носит автохтонный низкомолекулярный характер, коагулируется штатной дозой СА.

Жёлтая зона (предупреждающий режим) – Hum_C = 8-15, m = 1,0-1,2, Р(авт) = 0,4–0,7, ЦВ = 15-25°. Переходное состояние перед весенним или осенним паводком, спектральные индексы указывают на начало поступления аллохтонного гумуса (А254/А365 снижается до 3,5–3,8). Стандартной дозы СА может быть недостаточно.

Красная зона (паводок) – Hum_C = ≥ 13, m ≥ 1,1, Р(авт) = 0,5-0,7, А254/А365 < 3,7, А365/А430 < 2,0, ЦВ ≥ 25°, мутность > 20 мг/дм³. Фиксируется в апреле-мае. ОВ представлено зрелым аллохтонным гумусом с высокой ароматичностью и значительной коллоидной фракцией, хорошо коагулируемой СА. Требуется не смена коагулянта, а увеличение его дозы на 30–100 %.

Красная зона (не паводок) – Hum_C = 8-22, m ≤ 1,15, Р(авт) = 0,3-0,6. Наблюдается во время в июле-августе (А254/А430 > 10, А365/А430 > 2,3) и в ноябре-январе (А254/А430 = 4,5-8,0, А365/А430 < 2,0). ОВ – преимущественно растворённое, низкомолекулярное, необходима смена коагулянта на ОХА.

Таким образом, связка показателей гумусность Hum_C, индекс автохтонности Р(авт), коэффициент партикулярности m и оптические отношения позволяет идентифицировать тип ОВ в воде водоисточника на текущий момент, выбрать и применить оптимальный режим водоподготовки.

Список использованных источников

1. Лозовик П.А., Зобкова М.В., Рыжаков А.В. и др. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество природных вод: кинетические и термодинамические закономерности трансформации // Доклады АН. – 2017. – Т. 477. – № 6. – С. 728–732.

2. Weishaar J.L. et al. Evaluation of Specific Ultraviolet Absorbance as an Indicator of the Chemical Composition and Reactivity of Dissolved Organic Carbon // Environ. Sci. Technol. – 2003. – V. 37. – P. 4702–4708.

ИЗУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО СОСТАВА ШЛАМ-ЛИГНИНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ МЕТОДОМ МС ИЦР ПФ

Черняк И.В.[1], Ларионов К.С.[1], Петров К.В.[1], Завьялова М.Г.[2,3], Николаев Е.Н.[2,3], Перминова И.В.[1]
[1]МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
[2]Институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича, Москва
[3]Сколковский институт науки и технологий (Сколтех), Москва
cernakivan7@gmail.com

Шлам-лигнин, накопленный в картах-накопителях полигона “Солзанский”, представляет собой многокомпонентную систему, загрязнённую органическими токсическими веществами и тяжёлыми металлами. Одним из перспективных направлений его обезвреживания является электрообработка, позволяющая снизить влажность субстанции и перераспределить загрязнители.

Цель работы – изучение молекулярного состава фракций гуминовых кислот (ГК), фульвокислот (ФК) и их смеси (ГФК), выделенных из шлам-лигнина до и после электрообработки, методом масс-спектрометрии ион-циклотронного резонанса с преобразованием Фурье (МС ИЦР ПФ).

Образцы шлам-лигнина отбирали на полигоне “Солзанский”. Электрообработку проводили в полевом эксперименте на образце 227 литров. Исследовали два набора образцов, в каждом – образец до обработки и три пробы образца после обработки: в зоне катода, в зоне анода и средняя проба. Выделение фракций ГК, ФК, ГФК проводили по методике IHSS. Анализ проводили на масс-спектрометре Apex Ultra (7 Тл, ЭР, режим отрицательных ионов, диапазон 200–1000 Да). Обработку данных вели в NOMspectra; диаграмму Ван-Кревелена разбивали на 20 блоков, соответствующих различным классам соединений [1].

После электрообработки наблюдали снижение средней молекулярной массы (с 420–440 до 360–410 Да для фракций ГК и ФК; с 480 до 430–470 для ГФК) и DBE (с 10–11 до 8,3–9,9 для всех фракций), что может указывать на частичную деструкцию конденсированных ароматических структур вследствие протекания окислительно-восстановительных процессов. Возрастает доля терпеноидов и липидов при резком снижении доли гидролизуемых таннинов. Вероятно, это может быть связано с трансформацией гидролизуемых таннинов и с обогащением алифатическими фрагментами. Наиболее выраженные изменения характерны для фракции ГК (рис. 1), где доля гидролизуемых таннинов падает с 23–28% до 6–9%, а терпеноидов растёт с 9–13% до 20–25%. Для фракции ФК изменения менее контрастны с аналогичными тенденциями. В нефракционированных ГФК после обработки увеличивается вклад фенилизопропаноидов и терпеноидов при снижении DBE.

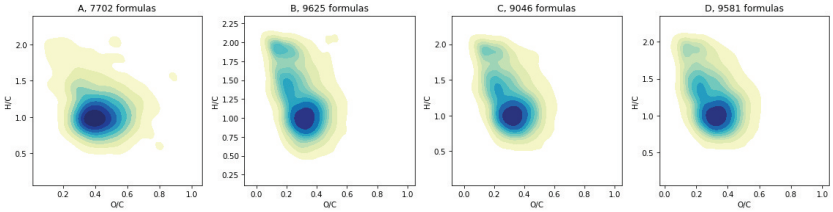


Рисунок 1 – Плотностные диаграммы Ван-Кревелена фракций ГК: A – исходный лигнин, B – средняя проба после электрообработки, C – зона катода после электрообработки, D – зона анода после электрообработки.

Результаты подтверждают возможность направленного изменения молекулярного профиля шлам-лигнина электрообработкой и могут быть использованы при выборе оптимальных режимов для *in situ* обезвоживания полигона “Солзанский”.

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант 075-15-2024-533. Спектры МС-ИЦР ПФ получены на Масс-спектрометре ИЦР ПФ в ЦКП “Протеом человека” ИБМХ имени В.Н. Ореховича

Список использованных источников

1. Perminova I.V. Pure and Applied Chemistry. – 2019. – V. 91. – № 5. – P. 851–864.

СЕКЦИЯ 3
РОЛЬ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ И КОМПОНЕНТОВ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЦИКЛЕ УГЛЕРОДА НАЗЕМНЫХ И ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

СТРАТИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ В ПРОЦЕССЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЫВШИХ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА

Курганова И.Н.[1,2], Лопес де Гереню В.О.[1], Филимоненко Е.А.[2], Телеснина В.М.[3], Лебедева Т.Н.[1], Упорова М.А.[4], Самохина Н.П.[2], Волкова Т.Ю.[1], Соколова Л.Г.[5], Зорина С.Ю.[5], Смоленцева Е.Н.[6], Самбуу А.Д.[7], Хорошаев Д.А.[1]
[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН имени В.А. Ковды, Пущино,
[2]Научно-технологический Университет Сириус, Федеральная территория «Сириус»,
[3]Факультет Почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,
[4]Тюменский Государственный Университет, Тюмень,
[5]Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск,
[6]Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск,
[7]Тувинский государственный университет, Кызыл, Республика Тува,
ikurg@mail.ru; eafilimonenko@mail.ru; vtelesnina@mail.ru;
uporovamaria@gmail.com; sokolova.lada@sifibr.irk.ru;
parabraunerde1961@gmail.com; sumbuu@mail.ru

Начиная с 90-х годов XX века, постагрогенные почвы в различных почвенно-растительных зонах РФ подвергаются активному процессу естественного восстановления. Экологические преимущества новообразованных постагрогенных экосистем включают: восстановление почв и растительности, увеличение растительного и микробного разнообразия, аккумуляцию углерода в растениях и почвах. Одним из показателей секвестрации углерода в почвах служит индекс стратификации, который представляет собой отношение запасов (или содержания) органического углерода (Сорг) в верхних слоях почвы к тем же показателям в более глубоких горизонтах.

В работе будет дана оценка стратификционных отношений для содержания и запасов органического углерода и его отдельных фракций в постагрогенных дерново-подзолах, серых почвах и черноземах, расположенных в подзоне южной тайги и зоне широколиственных лесов Европейской части России, лесостепной и степной зонах Западной и Восточной Сибири. Исследование проводилось методом хронорядов, применяли методы гранулометрического, термического и биокинетического фракционирования органического вещества (ОВ) почв.

В ходе постагрогенного восстановления мы зафиксировали увеличение запасов углерода в дерново-подзолах южной тайги и серых почвах зоны

широколиственных лесов в среднем в 1.2−1.4 раза в молодых залежах, возраст которых не превышал 20 лет, и в 1.4−1.5 раза в более зрелых залежах 20−45 летнего возраста по сравнению с современными пахотными почвами. Проведение термогравиметрического фракционирования ОВ в серых почвах зоны широколиственных лесов и лесостепи выявило увеличение содержания Сорг во всех выделяемых пулах ОВ: лабильном, стабильном и устойчивом. Рекарбонизация бывшего пахотного слоя в ходе пост-агрогенной сукцессии сопровождалась отчетливо выраженной стратификацией ОВ, которая в значительной степени была определена более быстрым ростом содержания лабильного пула ОВ в его верхней части (0−10 см) по сравнению с нижней (10−20 см).

Таким образом, восстановительная залежная сукцессия ведет к усилению процессов секвестрации почвенного ОВ, что в свою очередь, может способствовать оздоровлению почв и замедлению климатических изменений на нашей планете. Устойчивые к деградации постагрогенные экосистемы могут диверсифицировать глобальное поглощение углерода и оказать своевременную поддержку Десятилетию ООН (2021–2030 гг.) по восстановлению экосистем, выполняя обязательства на местном и глобальном уровнях по обращению вспять деградации экосистем.

Работа выполнялась в рамках государственных заданий Минобрнауки России для ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № 126031118706-8), ФБГНУ СИФБР СО РАН (рег. № НИОКТР –125021902487-9), МГУ им. М.В. Ломоносова (тема № 121040800321 4), Проекта государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (Соглашение №20-03 от 01.06.2026) и гранта РНФ № 26-74-10112.

ГУМУСОВЫЕ ВЕЩЕСТВА – ОТКРЫТАЯ ПРИРОДНАЯ САМОРЕГУЛИРУЕМАЯ СИСТЕМА

Дергачева М.И.
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск
mid555@yandex.ru

Гумусовые вещества почв – эта совокупность взаимосвязанных углеродсодержащих веществ специфической природы, выполняющие широкий круг функций на разном уровне организации биосферы, могут рассматриваться с разных позиций. Например, можно изучать и оценивать их поведение как химической субстанции (что чаще всего встречается в литературных источниках), или как совокупность амфифильных почвенных компонентов, или с точки зрения их коллоидных свойств, или с позиций супрамолекулярной химии и т.п. Каждый из подходов дает богатый материал для оценки реальности их существования в качестве отдельного специфического пула природных углеродистых веществ, выполнения ими определенных разнообразных функций и участия в разных процессах, обусловливающих их устойчивость или изменчивость во времени и

пространстве. Несмотря на большое внимание к этим природным соединениям, расширение приемов их изучения, введения современных методов исследования их состава и структуры, ученые не могут прийти к единому мнению по ряду основополагающих вопросов, вызывающих очень яростные дискуссии о сущности гумусовых веществ, реальности их существования в почвах, адекватности выделяемых общепринятыми методами препаратов тем веществам, которые находятся в нативных почвах, причин устойчивости во времени, возможной длительности и уровня сохранения всех присущих их составу и свойствам параметров, возможности индицировать те или иные процессы в почвах и другие. Но есть еще один подход к изучению и интерпретации материалов исследования этой тесно связанной между собой совокупности специфических гумусовых веществ процессами взаимодействия, потоками вещества, энергии и информации с позиций общенаучной парадигмы – системного анализа сложных природных систем. Изучение в течение 60 лет гумуса почв на разных уровнях его организации – от ландшафтного до молекулярного позволило разработать и обосновать концепцию о гумусе как природной открытой системе взаимосвязанных между собой гумусовых веществ, обладающей свойствами самоорганизации, саморегулирования и выполняющей в своей совокупности ряд целостных системных функций, таких как участие в обеспечении плодородия, формирования почвенного профиля, причин устойчивости во времени, сохранения информации в меняющейся природной среде в пределах типовых параметров и других. Основные положения этой концепции и их обоснование, были впервые изложены в целостном виде в 80-х гг. XX в. [1-2]. Чтобы признать взаимодействующую совокупность имеющихся в почвах гумусовых веществ в качестве природной открытой (диссипативной) саморегулируемой системы, необходимо иметь доказательства: внутренней взаимосвязи потоками вещества, энергии и информации выделенных в качестве элементов этой системы компонентов; тесной взаимосвязи с условиями внешней среды, но не превышающей внутрисистемные связи компонентов между собой; наличия целостных свойств, не присущих каждому из элементов системы, но свойственных системе в целом; наличия обратных связей между элементами выделенной в систему совокупности; возможных процессов эквифинальности или активного выбора поведения для сохранения динамического равновесия и другие. Одним из доказательств, позволивших отнести совокупность взаимосвязанных между собой гумусовых веществ к природной открытой системе – это установление ее диссипативности. Использовав наши опубликованные данные о сезонной динамике состава гумуса почв разных условий формирования, В.И. Ионенко [3] при помощи аппарата Лотки-Вольтерры доказал, что система гумусовых веществ почв является диссипативной, то есть она представляет собой открытую систему взаимодействующих компонентов, которая находится вдали от равновесия, обменивается энергией и веществом с окружающей средой, в процессе чего происходит по разным причинам диссипация (рассеивание) энергии и в конечном итоге самоорганизация и возникновение устойчивых (диссипативных) структур. Разработанная концепция о гумусе как природной открытой самоорганизующейся и саморегулируемой системе дала возможность расширить круг решаемых проблем в области

прикладного почвоведения и сопредельных наук, обосновать возможность самовосстановления гумусовых веществ и раскрыть причины их устойчивости во времени, а также их участие в регуляции устойчивости экосистем в целом. Каждое положение этой концепции подтверждено многочисленными экспериментальными и аналитическими материалами, представленными в разных публикациях автора за последние 40 лет. Следует подчеркнуть, что ГВ, представляя собой систему, может выполнять целостные для этой системы функции, тогда как смесь веществ не может реализовывать какие-либо функции в биосфере [1-2, 4].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН.

Список использованных источников

1. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1984. 155 с.

2. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв (пространственные и временные аспекты). М.; Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. 113 с.

3. Ионенко В.И. Колебательные процессы фракционного состава гумуса. Гумус как диссипативная система // Тезисы докл. 2-го съезда почвоведов и агрохимиков УССР: Пленарн. докл. почвоведов, мелиораторов. Харьков. 1986. С. 120.

4. Дергачева М.И. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. 292 с.

К МЕТОДОЛОГИЧЕСКИМ АСПЕКТАМ ИЗУЧЕНИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГУМУСА

Орлова Н.Е., Орлова Е.Е., Виноградова К.А., Сюй Ш.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
n.orlova@spbu.ru

В настоящее время биохимия гумусовых веществ является стройным учением о формировании, составе, строении и функциях почвенного органического вещества и его компонентов. Основные этапы развития науки о почвенном гумусе и результаты многочисленных исследований обобщены в монографиях ведущих ученых в области биохимии гумусовых веществ. Эти работы позволили значительно расширить представления об образовании системы гумусовых веществ, природе и структуре ее компонентов, определить особенности и основные закономерности изменения гумусового состояния в зонально-генетическом ряду почв и при вовлечении их в сельскохозяйственный оборот, понять механизм образования и поведения в почве органо-минеральных соединений. Благодаря установленным закономерностям гумусообразования и огромному объему полученной в этой области информации, показатели гумусового состояния широко используют в диагностике и классификации почв,

применяют для выяснения почвенно-генетических вопросов и разработки практических мероприятий по рациональному использованию почв и повышению почвенного плодородия. Несмотря на большие успехи биохимии гумусовых веществ, многие вопросы еще требуют разрешения и развития, оставаясь в фокусе современных научных исследований. Особенно остро стоят вопросы, связанные с деградацией гумуса, снижением его устойчивости и, как следствие, дегумификацией почв.

Однако в последние десятилетия в научных кругах получили распространение мнения, отрицающие значимость почвенного гумуса в почвообразовании и роль в биосфере в целом. Существуют даже столь радикальные суждения, согласно которым термины «гумус», «гумификация» и «гуминовые вещества» следует изъять из употребления, поскольку эти понятия базируются на традиционных процедурах фракционирования почвенного органического вещества. Вместе с тем в настоящее время в связи с фиксируемыми климатическими изменениями повсеместно уделяется огромное внимание проблеме сохранения почвенного органического углерода и сокращению его поступления в атмосферу. При этом часто ограничиваются только оценкой и контролем содержания общего органического углерода, недооценивая, или сознательно игнорируя, необходимость исследования уникальных свойств и функций гумусовых веществ.

Проблема сохранения и воспроизводства почвенного органического вещества значительно шире и требует изучения процессов трансформации всех компонентов гумуса, включая минерализацию, гумификацию и стабилизацию. В основе исследований органического вещества почв целесообразно использовать представления о структуре и формах связи отдельных компонентов гумуса с минеральной частью почвы, а также степени устойчивости их к биохимическим воздействиям. Под устойчивостью гумусовых веществ следует понимать способность противостоять разложению под действием биотических (микроорганизмов) и абиотических (кислорода, воды, температуры) факторов, при этом устойчивость гумусовых веществ зависит от молекулярной структуры самих соединений, тогда как стабилизация – это процессы, которые повышают устойчивость органического вещества, изменяя формы их связи с минеральными компонентами почвы, переводя его в более защищённое состояние и замедляя их минерализацию. Такой подход к исследованиям на основе традиционных представлений о почвенном органическом веществе позволяет вскрыть механизмы процессов формирования и накопления гумусовых веществ, выявить те фракции органического вещества, которые в наибольшей степени способствуют формированию и сохранению плодородия, определить показатели гумусового состояния, реагирующие на изменение климатических факторов и различные виды антропогенного воздействия.

Выявление закономерностей изменения химического состава, молекулярной структуры и свойств компонентов гумуса при разных видах природопользования в условиях изменяющегося климата имеет важное научное значение для понимания механизмов стабилизации и оборота почвенного органического вещества.

РОЛЬ БИОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ФОРМИРОВАНИИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПРОФИЛЯ ПОЧВ ЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Завгородняя Ю.А., Гарезина А.А., Демин В.В.
МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва
zyu99@mail.ru

Верхняя часть почвенного профиля являются активной зоной, где происходит регулярное поступление, синтез, перераспределение органических веществ, в том числе *н*-алканов – гидрофобных соединений, входящих в липидную фракцию гумуса. Гомологический профиль *н*-алканов обусловлен наложением молекулярных «отпечатков» растительных эпитикулярных восков надземной и корневой биомассы, липидов клеточной стенки почвенных грибов; вклад источников зависит от типа биологического круговорота и органопрофиля конкретного фитоценоза. Цель исследования - оценить роль различных источников в формирование состава алифатических соединений горизонтов почв под лесными фитоценозами в зоне южной тайги.

Исследования проводились в зоне южной тайги на территории Центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника (Тверская обл., РФ). Исследовали состав алканов в горизонтах дерново-подзолистых почв (Umbric Albeluvisols) под разными типами фитоценозов постагрогенной сукцессии, дерново-палево-подзолистой и торфяно-подзолисто-глеевой почва под ненарушенным хвойным лесом, в зеленой биомассе растений и подстилках, корнях и грибной биомассе. Для выделения использовали метод субкритической экстракции, идентификацию и количественное определение *н*-алканов проводили методом ГХ-МС (Завгородняя и др., 2020).

Различия в гомологическом составе растительных *н*-алканов хорошо описываются относительным содержанием пяти нечетных гомологов C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}, C_{33}. Набор алканов в зеленых частях растений (листья, мох, хвоя, трава) отличались от компонентов опада, составляющих подстилки. Максимальное содержание *н*-алканов C_{25}-C_{33} было получено для фракции листьев в подстилках (до 1700мкг/гС), ниже было содержание во фракции травы и мха (500-900мкг/гС), наиболее низким было содержание алканов в хвое (около 150мкг/гС). Для всех исследованных дерново-подзолистых почв, независимо от времени их формирования и типа фитоценоза, углеводородный состав подстилки определял опад листьев мелколиственных пород. Для верхних горизонтов подстилки торфяно-подзолисто-глеевой почвы состав *н*-алканов определяется в равной степени липидами листьев и мхов. Вклад хвои в состав *н*-алканов подстилки, независимо от типа леса, не превышал 1%. Содержание *н*-алканов в корнях из верхних минеральных горизонтов почв варьировало в широких пределах (12-217мкг/гС) и было максимально для почв под травянистым покровом. По составу доминирующих *н*-алканов корни под древесными парцеллами отличались от подстилок и их компонентов и были сходны с грибной массой, вероятно, из-за наличия микоризы.

Содержание *н*-алканов в верхних горизонтах под смешанными фитоценозами составило 400-700мкг/гС, в почвах под зрелыми ельниками – 120-

200мкг/гС. Состав *н*-алканов в верхних горизонтах был сходным для всех исследованных почв. По относительному содержанию маркерных алканов C_{25}-C_{33} отличалась только почва молодого леса с наземным покровом из луговых трав. В верхних горизонтах почв абсолютно доминировали нечетные *н*-алканы, вниз по профилю в составе *н*-алканов повышалась доля четных гомологов. Гомологические профили алканов из элювиальных горизонтов и из грибной биомассы сходны между собой, что указывает на микромицеты, как на основной источник гидрофобных соединений в этой части профиля. Статистический анализ состава *н*-алканов различных растительных источников, которые могут формировать липидный комплекс верхних минеральных горизонтов почв под фитоценозами южной тайги, показал, что роль компонентов подстилки менее значима, по сравнению с корневой массой, с которой почвенные липиды имеют большее сходство.

В зоне южной тайги на начальных стадиях зарастания угодий лесом изменение комплекса *н*-алканов, сформированного биомассой корней трав, идет за счет поступления в гумусовые горизонты липидов с наземным опадом лиственных пород в процессе биотурбации; время смены гомологического профиля алканов в верхних горизонтах при этом составляет 20-30 лет. В тоже время, под зрелыми ельниками накопление и трансформация *н*-алканов эпикутикулярных восков надземных частей растений может происходить в горизонтах подстилки без поступления в нижележащие минеральные слои почвы - источником алканов в подподстилочных горизонтах является биомасса корней и микромицетов; при этом время обновления *н*-алканов в гумусовых горизонтах под ельниками может составлять 100-200 лет.

РОЛЬ АКТИВНОЙ И СТАБИЛЬНОЙ ЧАСТЕЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПЛОДОРОДИИ ПОЧВ

Цховребов В.С., Вовк А.М., Пластинина Е.В.
Ставропольский ГАУ, г. Ставрополь
tshovrebov@mail.ru

Органическое вещество представлено в почве в пяти ипостасях: свежий органический опад, детрит, гумус, мортмасса микробных тел и корневые выделения. Активность различных частей органического вещества в процессе почвообразования неодинакова. Обусловлена она их доступностью как питательного субстрата для живой фазы почвы. В процессе жизнедеятельности микробиоты происходит разрушение минеральной и органической части почв и перевод недоступных элементов в доступные. На наш взгляд основная роль органического вещества определяется доступностью микрофлоре и скоростью его минерализации.

Свежей опад и детрит являются относительно доступными для почвенной микрофлоры. Ещё более доступна мортмасса микробных тел, которая в чернозёмах колеблется от 10 до 90 т/га. Наиболее доступными считаются

корневые выделения и скорость их минерализации самая высокая, т.к. они поступают непосредственно в почвенный раствор, т.е. в зону питания микроорганизмов. Масса корневых выделений может достигать до 2/3 и выше от полученного урожая.

Но учёные почвоведы наибольшее внимание уделяют изучению гумуса и его составных частей – гумусовым кислотам и гумину. При изучении публикаций по этому вопросу можно встретить самые различные определения гумуса, иногда противоречащие друг другу. Но как можно рассуждать об этой части органического вещества, если мы не определились с тем что это. Нам представляется, что наиболее правильным определением будет такое: гумус – это высокомолекулярное органическое, коллоидное вещество фенольной природы. Это определение в значительной степени согласуется с определением, данным в своё время Д.С. Орловым.

Гумус и особенно гумин является инертной, неактивной массой. Гумусовые кислоты малоактивные вещества. По утверждению М.М. Кононовой в чернозёмах и каштановых почвах только10-15% активных гумусовых кислот. По мнению Д.С. Орлова основными функциями гумуса являются: питательная, транспортная, физико-химическая, структурообразующая, протекторная и физиологическая активность. Некоторые из этих функций можно считать сомнительными или маловероятными если мы имеем в виду собственно гумус. Питательная функция маловероятна, т.к. гумус стабилен и стабильность эта вытекает даже из схемы его строения, данное ещё Касаточкиным. Гумус обладает низким запасом элементов питания и прочными химическими связями, благодаря его фенольной природе. Вот все остальные части органического вещества безусловно, выполняют эту важную функцию.

Транспортная и физико-химическая функции, которые обеспечиваются коллоидным комплексом, по результатам наших многочисленных исследований, не подтверждаются. При исследовании палеопочв возрастом 2,5 тысячи лет и сопряжённых с ними современных почв при одном и том же гранулометрическом составе, но разном содержании гумуса ёмкость катионного обмена не меняется. Таких примеров много.

Структурообразующая функция свойственна всему органическому веществу и какова доля в нём гумуса малоисследовано. Его функция физиологической активности неоспорима, но ей, к сожалению, придают меньше всего внимания.

Таким образом, органическое вещество надо разделить на 2 части: стабильную – гумус и лабильную – вся остальная органика. Памятуя о первенстве минералов при почвообразовании школа почвоведения Ставропольского ГАУ утверждает, что гумус является не причиной, а следствием почвенного плодородия. Почвы плодородны не потому, что там много гумуса, а много гумуса, потому, что почвы плодородны. А лабильная часть органического вещества является и следствием, и причиной плодородия почв.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ПУЛОВ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В НЕКОТОРЫХ ТИПАХ ПОЧВ ПРИУРАЛЬСКОГО РАЙОНА ЯНАО

Низамутдинов Т. И., Артюхов Е. А., Швецова А. А., Абакумов Е. В.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
timur_nizam@mail.ru

Почвенный покров арктических и субарктических регионов запасает огромное количество почвенного органического вещества, сохранение и оценка запасов которого крайне важно с точки зрения поддержания глобального углеродного баланса. В условиях меняющегося климата возрастает значимость изучения не только валовых запасов почвенного органического вещества (SOM), но и его состава его структурных пулов. Анализ распределения углерода и азота между стабильным (минерально-ассоциированным, MAOM) и лабильным (дисперсным, POM) пулами SOM необходимо для оценки устойчивости углеродного пула почв к трансформациям и деградационным процессам. Целью работы является сравнительное исследование состава структурных пулов SOM в основных типах почв Приуральского района ЯНАО (г. Салехард и прилегающие территории).

Исследовали следующие типы почв: криоземы (Cryosol), подзолы (Podzol), органо-аккумулятивные (Leptosol) и глеевые почвы (Gleysol). Анализ осуществляли для слоя почвы 0-15 см, для каждого типа почв брали 3-6 полевых повторности. В лабораторных условиях определяли содержание общего углерода (SOC) и общего азота (TN) в образцах почвы, а также выполняли гранулометрическое фракционирование для выделения фракции <0.053 мм, содержащей минерально-ассоциированное (стабильное) органическое вещество (MAOM) и фракции 0.053–2 мм, содержащей дисперсное (лабильное) органическое вещество (POM). В выделенных гранулометрических фракциях также определяли содержание углерода и азота для вычисления количества (г/кг) и доли (% от SOC/TN) минерально-ассоциированного углерода (C-MAOM) и азота (N-MAOM). Долю углерода и азота (%) в дисперсном пуле получали расчетным методом, как разницу между SOC/TN и C-MAOM/N-MAOM.

Состав структурных пулов органического вещества значительно отличался между исследованными почвами. В слое 0-15 см криоземов и подзолов доминирует фракция дисперсного почвенного органического вещества (здесь доля углерода в пуле POM составляет 82–87 % от SOC), тогда как доля минерально-ассоциированного органического вещества существенно ниже (доля углерода во фракции MAOM не превышает 14–18 % от SOC). Это свидетельствует о слабой степени минеральной защиты SOM и высокой потенциальной уязвимости углеродного пула к деградации при смене климатических условий. Органо-аккумулятивные и глеевые почвы характеризуются низким (9–18 г/кг) абсолютным содержанием SOC в слое 0-15 см, однако доля минерально-ассоциированного углерода в нем достигает 30–68 % от SOC, что указывает на более эффективную минеральную стабилизацию органического вещества. Валовое содержание азота (TN) закономерно повторяет динамику количества

углерода в исследованных почвах, достигая максимума в криозёмах (до 19 г/кг). Минерально-ассоциированный органический азот (N-MAOM) составляет в среднем 20–50 % от общего пула TN подзолов, органо-аккумулятивных и глеевых почв. В криозёмах доля MAON крайне вариабельна и изменяется от 12 до 65 % от общего TN.

Преобладание пула POM в органическом веществе подзолов и криозёмов делает эти почвы наиболее уязвимыми к изменениям климата. При потенциальном потеплении и именно активный пул будет в первую очередь вовлекается в процессы микробной минерализации, создавая прямые риски эмиссии климатически-активных газов. Напротив, почвы с доминированием минерально-ассоциированных форм углерода и азота, обладают значительным потенциалом к долговременной стабилизации почвенного органического вещества и устойчивости его к биодеградации. Таким образом, для оценки реакции арктических экосистем на климатические изменения недостаточно анализа валовых запасов SOM; ключевым прогностическим маркером выступает его фракционный состав, где высокая доля лабильного SOM сигнализирует о потенциальной нестабильности углеродного пула при деградации мерзлотных почв криолитозоны.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда –
грант № 24-44-00006.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НУЛЕВОЙ ОБРАБОТКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЯХ И ФРАКЦИИ POM АГРОЧЕРНОЗЕМА ТЕКСТУРНО-КАРБОНАТНОГО

Костецкий Д.М., Бучкина Н.П.
Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург
dan-kost@mail.ru

Органическое вещество обладает высоким углерод-секвестрирующим потенциалом и является ключевым элементом биогеохимического цикла углерода. Оценка процессов секвестрации и эмиссии углерода из почвы невозможна без анализа почвенного органического вещества (ПОВ), в том числе его функциональных пулов: крупных органических частиц (POM, >0,05 мм), и минерально-ассоциированного органического вещества (MAOM, <0,05 мм), тесно связанного с мелкодисперсными (пыль и ил) гранулометрическими фракциями. Функционирование ПОВ напрямую связано с обработкой почвы, при этом обработка почвы непосредственно влияет на интенсивность минерализации и перераспределение пулов органического вещества в сельскохозяйственных почвах. Ресурсосберегающие технологии, такие как нулевая обработка (No-Till) оцениваются как перспективные технологии накопления и долгосрочного удержания углерода в почве, однако в условиях черноземной зоны России исследования нулевой обработки недостаточны и не образуют целостной

картины. В то же время влияние локальных почвообразующих процессов является лимитирующим фактором эффективности прямого посева. Цель данного исследования – оценка значимости воздействия нулевой обработки на органический углерод в гранулометрических фракциях почвы и во фракции POM.

Исследование проводилось в 2024 году в агрохозяйстве, находящемся в Крымском районе Краснодарского края (45.0°N, 37.9°E), на агрочерноземе текстурно-карбонатном (Stagnic Chernozem). Почва сформирована на лёссовых материнских породах и классифицируется как пылеватый суглинок по гранулометрическому составу. В работе изучали два типа обработки почвы: традиционная вспашка на глубину 22-25 см и нулевая обработка (применяется с 2016 года). Отбор образцов (10 точек на каждом участке) проводился из двух горизонтов (0–10 см и 10–30 см) в ноябре 2024 года. Почвенные образцы разделяли на следующие гранулометрические фракции: песчаная (0,05–2,0 мм), пылеватая (0,002–0,05 мм) и илистая (<0,002 мм), а также отдельно выделяли фракцию органического вещества POM (>0,05 мм), отделяемую от песчаной фракции декантацией. Содержание органического углерода (Сорг, %) во всех полученных образцах определяли на экспресс-анализаторе МЕТЭК-700.

При оценке влияния нулевой обработки на содержание Сорг в гранулометрических фракциях почвы, установлено статистически значимое совместное влияние факторов “обработка” и “горизонт” ($F=10,04$, $P<0,05$), что указывает на то, что нулевая обработка в первую очередь влияет на распределение Сорг по горизонтам. Так, в горизонте 0-10 см при нулевой обработке наблюдается увеличение содержания Сорг во всех фракциях гранулометрического состава на более чем 10 %, относительно традиционной обработки. В нижележащем горизонте (10-30 см), в пылеватой и песчаной фракциях наблюдалось снижение содержания Сорг, а в илистой фракции – увеличение на 13,3%. Однако, статистически значимым ($p <0,05$) является увеличение содержания С общ только в илистой фракции верхнего горизонта (+21 %). Так же как для содержания Сорг в гранулометрических фракциях, для содержания Сорг в POM установлена значимость взаимодействия факторов “горизонт” и “обработка” ($F = 29.93$, $P<0,05$), что подтверждает влияние нулевой обработки на распределение углерода по почвенным горизонтам. Так, в верхнем горизонте содержание Сорг (г/100 г почвы) в POM при нулевой обработке в среднем было на 0,16 г, выше, чем при традиционной обработке, а различия между обработками были статистически значимыми, исходя из чего можно судить о накоплении органического вещества во фракции POM ($p <0,05$). В то же время в горизонте 10-30 см, содержание Сорг в POM было на 0,05 г ниже, чем при традиционной обработке ($p <0,05$).

Таким образом, для исследуемого агрочернозёма текстурно-карбонатного установлено, что основным фактором воздействия нулевой обработки в среднесрочной перспективе является накопление углерода, связанного как с илистыми частицами, так и в форме POM, в верхнем горизонте почвы (0-10 см). В то же время статистически значимое накопление углерода в илистой фракции гранулометрического состава и в пуле крупных органических частиц в долгосрочной перспективе будет способствовать формированию устойчивых пулов органического вещества в поверхностном слое почвы с его потенциальной нисходящей миграцией в нижележащие горизонты.

ОТКЛИК ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА РИЗОСФЕРЫ ЯЧМЕНЯ НА КОНТРАСТНЫЕ РЕЖИМЫ УВЛАЖНЕНИЯ

Данилин И.В., Григорьева И.И., Цомаева Е.В.
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва
danilin_iv@esoil.ru

В почвоведении ризосфера рассматривается не только как зона корневого питания растений, но и как зона наиболее интенсивной трансформации твердой фазы почвы, в т.ч. почвенного органического вещества (ПОВ). Химическое состояние органического вещества ризосферы можно рассматривать не только как индикатор физиологического состояния растений и ризосферных микроорганизмов, но и как результат действия адаптационных механизмов по отношению к различным факторам стресса. Одним из таких факторов является неоптимальный уровень обеспеченности влагой. Эффект учащающихся вследствие современного изменения климата засух и наводнений на химическое состояние ризосферы изучен относительно слабо, в т.ч. для почв нечерноземной зоны России. Изучение динамики и стадийности трансформации ПОВ в ризосфере способствует лучшему пониманию механизмов трансформации ПОВ и адаптации растений в условиях переменного водного режима.

Для проведения эксперимента использовали верхний горизонт дерново-подзолистой почвы, отобранной на территории опытных полей ВНИИМЗ (п. Эммаусс, Тверская область). Вегетационный эксперимент проводили в сосудах объемом 200 $см^3$ в климатической камере при температуре воздуха 18 °С и влажности воздуха 45 %, в качестве тестовой культуры использовали ячмень (*Hordeum vulgare* L.). Влажность почвы поддерживали на уровне 80 % от наименьшей влагоемкости (НВ) в течение 8 суток после прорастания, после чего продолжали вегетационный эксперимент при 4 режимах влажности: недостаточный (35 % от НВ), оптимальный (80 % от НВ), избыточный (200 % от НВ) и переменный (35-80-200-80-35... % от НВ). Раз в 3 дня отбирали пробы почвы из сосудов с растениями (ризосфера) и без растений (контроль). После отбора почву замораживали при -60 °С, высушивали в лиофильной сушке, растирали в фарфоровой ступке, просеивали через сито 0,25 мм после удаления крупных растительных остатков и хранили при -20 °С до востребования. Химическое состояние почвы характеризивали методом инфракрасной спектрометрии диффузного отражения (DRIFTS) на приборе ФТ-801 с приставкой ПРИЗ (Симэкс, Россия) в диапазоне 550-4000 $см^{-1}$. Все спектры снимали при разрешении 2 $см^{-1}$, каждый спектр образца получен путем усреднения 32 сканов. Разметку полос поглощения проводили по вторым производным.

При оптимальной влажности различия в спектральных свойствах почвы ризосферы и контрольного опыта минимальны, но ризосфера демонстрирует большую динамичность. При недостаточной увлажненности в ризосфере наблюдается значительное увеличение интенсивности полосы поглощения 1400 $см^{-1}$ и слабое – полосы 1600 $см^{-1}$. При избыточном увлажнении интенсивность полосы 1400 $см^{-1}$ уменьшается, причем в контрольном опыте более явно, чем в

ризосфере. В наибольшей степени различия между ризосферой и контрольным опытом выражены при переменном увлажнении: в ризосфере увеличивается интенсивность полос 550-1400 $см^{-1}$, а во вмещающей почве наблюдается противположная закономерность. Зона 1000-1300 см-1, соответствующая наиболее интенсивным полосам поглощения почвенных минералов, стабильна во всех вариантах опыта.

На синхронных корреляционных картах во всех вариантах зафиксирован мощный положительный автопик в области 1300–1400 $см^{-1}$. Это свидетельствует об однонаправленном изменении интенсивности соответствующих полос алифатических, амидных и карбоксильных соединений. Асинхронный корреляционный анализ показал, что в контрольном опыте процессы трансформации ПОВ носят выраженный стадийный характер, максимизирующийся при переменном увлажнении. В ризосфере интенсивность асинхронных пиков значительно слабее по сравнению с контролем.

Таким образом, спектральные данные в средней ИК области оказались достаточно информативным показателем изменения свойств ПОВ дерново-подзолистой почвы при разной степени выраженности ризосферных процессов и разных режимах увлажнения. Ризосфера ячменя оказывает нивелирующий эффект на трансформацию ПОВ, индуцированную водным стрессом. При этом буферный потенциал ризосферных процессов ограничен и их вклад в регуляцию трансформации ПОВ при дефиците и избытке влаги уменьшается.

ГУМИФИКАЦИЯ ЛИШАЙНИКОВ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Гончарова Е.Д, Гончарова О.Ю, Заварзина А.Г.
Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва
gonchkate03@gmail.com

Органическое вещество почв (ПОВ) – главный резервуар углерода в биосфере, однако его состав и механизмы образования являются предметом дискуссий. До 50-80% от ПОВ составляют гуминовые и фульвокислоты. Их образование связывают с процессами окислительной свободнорадикальной трансформации фенольных предшественников, в первую очередь лигнина. Значительные площади на севере России заняты олиготрофными лесами, тундрами и болотами с доминированием в напочвенном покрове мхов и лишайников. Лишайники не содержат лигнин, однако в них обнаружены как водорастворимые фенольные соединения (ФС), так и фенолы, идентифицируемые при CuO окислении высших растений как биомаркеры лигнина. Лишайники также продуцируют ферменты – лакказу и тирозиназу, под влиянием которых ФС могут окисляться до феноксильных радикалов и хинонов и вступать в реакции конденсации. Гумификация лишайников в зависимости от локальных биоклиматических факторов и химического состава лишайников остается малоизученной. В частности, отсутствуют данные по динамике качественного и

количественного состава ФС в процессе деструкции лишайников. Исследования в этой области представляют актуальность и новизну.

Целью работы было изучить изменение химического состава лишайников в ходе их биодеструкции в поверхностных горизонтах почв трех типичных биогеоценозов криолитозоны Западной Сибири – сосняка-лишайникового, сосняка зеленомошника и бугристого торфяника. Биогеоценозы различаются температурными показателями и биологической активностью. Эти показатели увеличиваются в ряду торфяник-беломошник-зеленомошник. Неизмельченные лишайники - *Cladonia stellaris* и *C.stygia*, широко распространенные в изучаемом регионе, помещали в мешочки из органзы и закладывали в поверхностные горизонты почв на 1 и 2 года. Изучали потерю массы, изменение содержания общего и водорастворимого C и N (на анализаторе), общего содержания углеводов (с антроновым реагентом), растворимых ФС по Фолину-Чекальтеу, динамику состава и содержания ФС - продуктов CuO-окисления.

Потеря массы лишайников составила 2-13% за первый год и 17-32% за два года эксперимента. Выявлено снижение содержания углеводов - 9-27% за один год и 84-88% за два года, а также водорастворимого азота - 12-72% и 45-78% за один и два года соответственно. После двух лет деструкции увеличилось относительное содержание как растворимых ФС - до 90% от исходного содержания, так и ФС – продуктов CuO-окисления: в 1.5-4 раза за 1 год и в 3-7.5 раз за 2 года деструкции. Из биомаркеров “лигнина” в лишайниках идентифицированы параоксибензойные и сиреневые структуры, которые преобладают над ванилиновыми. Также обнаружены фенольные кислоты - бензойная, фталевая, вератровая, коричная, галловая. В процессе деструкции лишайников происходит окислительное преобразование ФС: накопление кислот относительно альдегидов, что характерно для гумификации.

С помощью многофакторного дисперсионного анализа установлено, что скорость деструкции лишайников определяется в большей степени их исходным химическим составом, и в меньшей - локальными биоклиматическими условиями. Результаты работы показывают, что лишайники являются значимым источником ФС в экосистемах Севера, что может свидетельствовать об их потенциально высоком вкладе в процессы гумификации и в формирование компонентного состава почв и природных вод.

СОСТАВ И СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ СУБАКВАЛЬНЫХ ПОЧВ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ БЕЛОГО МОРЯ

Миннуллина Я.И., Красильников П.В., Розанова М.С.
МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва
ja.minnullina@gmail.com

Органическое вещество субаквальных почв является недооценённым компонентом глобального цикла углерода, однако его состав, свойства и источники поступления недостаточно изучены. В особенности это касается

меромиктических водоемов с придонной сероводородной геохимической обстановкой, в которых процессы гумусообразования и гумусонакопления по сей день не исследованы. Цель работы – охарактеризовать процесс гумусообразования в восстановительной сульфидной обстановке субаквальных почв меромиктических водоемов.

Объектами исследования служат почвы литорали, а также субаквальные почвы трех меромиктических водоемов, расположенных на побережье Кандалакшского залива Белого моря: лагуна на Зеленом мысе, оз. Кисло-Сладкое и оз. Еловое. Лагуна на Зеленом мысе находится на начальной стадии изоляции от Белого моря. Оз. Кисло-Сладкое обладает неполной меромиксией, а оз. Еловое находится на заключительном этапе изоляции, для него характерна «истинная» меромиксия. Отбор проб субаквальных почв производился с помощью дночерпателя с шагом по глубине 30 см. Определение углерода органических соединений выполнялось методом Тюрина. Групповой и фракционный состав – по методу Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой. Выделение и очистка препаратов гуминовых кислот – по методике Орлова и Мотока в модификации Бахвалова. Снятие инфракрасных спектров производилось на спектрофотометре Bruker Tensor 27. Спектры 13C ЯМР твердофазного образца зарегистрированы на спектрометре BRUKER AVANCE-II 400 WB. Элементный анализ препаратов гуминовых кислот производился на элементном анализаторе ECS 8020 CNHS-O.

Содержание органического вещества во всех исследуемых водоемах повышалось с увеличением глубины. Наибольшие значения концентрации органического вещества наблюдаются в оз. Еловое (3,85–9,65%), наименьшие – в лагуне на Зеленом мысе (1,99–6,96%). В составе гумуса субаквальных почв меромиктических водоемов на всех глубинах преобладает гумин и наблюдается чисто гуматный и фульватно-гуматный тип гумуса. Для большей части исследованных образцов характерно широкое отношение Сгк/Сфк (1,08–5,34). Высокие отношения Н/Сисп (1,71–2,59) демонстрируют весомое участие водорода в формировании алифатических структур. Значения структурного индекса варьируют от 2 до 2,8, а индекса окисленности – от 49 до 0,9%, что свидетельствует о том, что все соединения относятся к алицилическим сильноокисленным. Установлено, что гуминовые кислоты донных отложений оз. Кисло-Сладкое и лагуны на Зеленом мысе характеризуются высокими значениями алифатичности и низкой ароматичностью. Наиболее вероятной причиной этого является длительное нахождение органического вещества в анаэробных условиях сероводородной зоны данных водоёмов, что способствует консервации гуминовых кислот.

Таким образом, субаквальные почвы формируются как в аэробных, так и в придонных анаэробных условиях меромиктических водоёмов, где органическое вещество консервируется и накапливается преимущественно в виде гумина и гуминовых кислот. В структуре гуминовых кислот субаквальных почв меромиктических водоемов преобладают алифатические фрагменты, представленные метильными и метиленовыми группами. Существенный вклад в построение молекул гуминовых кислот вносят белки и углеводы, что свидетельствует об автохтонном происхождении органического вещества

субаквальных почв от подводных организмов, в частности, от планктона. Соотношение вкладов терригенного и подводного органического вещества определяется двумя главными факторами: степенью изоляции водоёма от моря и площадью его водосбора.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 23-67-10006 “Запасы и динамика “голубого углерода” в береговой зоне морей западного сектора Российской Арктики”.

РОЛЬ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В РАЗРУШЕНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СООБЩЕСТВОМ ХЕМОТРОФНЫХ И ФОТОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ

Галушко А.С.
ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: galushkoas@inbox.ru

В настоящее время известно, что большое количество бактерий способны использовать восстановленные гуминовые кислоты (вГК) в качестве доноров электронов для обеспечения ростовых процессов. Однако, все известные микроорганизмы, обладающие этим свойством, осуществляют хемотрофный метаболизм. Целью исследований было: обнаружить фототрофные аноксигенные бактерии, осуществляющие светозависимое окисление вГК для автотрофного роста; оценить возможность участия таких бактерий в разложении органического вещества в сообществах, содержащих хемотрофные бактерии, восстанавливающие ГК.

В качестве источника фототрофных бактерий была использована проба донных отложений из лесной канавы, обогащенной окислами железа. Для получения накопительных культур и выделения чистой культуры фототрофных бактерий была использована среда, содержащая аналог вГК – восстановленный 9,10–антрагидрохинон–2,6–дисульфонат (вАДС). В результате проведенных исследований была получена чистая культура овальных бактерий (штамм Е3Р), которая на свету росла автотрофно, как за счет окисления вАДС, так и за счет окисления вГК. Штамм Е3Р обладал способностью к фотоорганогетеротрофному росту за счет использования алифатических кислот.

Способность этой бактерии фототрофно использовать вАДС и вГК в качестве донора электронов, в принципе, свидетельствовала о теоретической возможности роста штамма Е3Р в сообществе с хемотрофными бактериями, восстанавливающими окисленные формы этих переносчиков электронов. Эта гипотеза была проверена экспериментально путем совместного культивирования штамма Е3Р и штамма GS-15 хемотрофной бактерии *Geobacter metallireducens*. Штамм GS-15 был способен восстанавливать гуминовые кислоты за счет окисления ароматической кислоты – бензоата, в то время как фототрофная бактерия не могла использовать бензоат. Проведенные исследования

подтвердили гипотезу о способности роста исследуемого сообщества за счет использования бензоата в присутствии АДС и ГК только в присутствии света.

Таким образом, впервые показан межвидовой перенос электронов в сообществах хемотрофных и фототрофных бактерий с участием ГК в качестве переносчиков электронов, образуемых при окислении ароматического вещества. Полученные результаты свидетельствуют о возможности протекания исследованных процессов в наземных и водных экосистемах.

ЛЕСНЫЕ ПОДСТИЛКИ - ПЕРВЫЙ ЭТАП ГУМИФИКАЦИИ В ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ

Богатырев Л.Г., Телеснина В.М., Семенюк О.В., Акишина М.М.
МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва
vtelesnina@mail.ru

Лесные подстилки являются одним из объектов, которые отражают современные тенденции преобразования органического наземного опада. Морфологически это преобразование отражается в типологии подстилок, что является основой при географо- генетическом исследовании лесных подстилок. Результаты многолетних исследований лесных подстилок в различных географических зонах показали, что при слабой дифференциации на подгоризонты и преимущественном преобладании в подстилке текущего опада, или опада прошлых лет, подстилки относятся к деструктивному типу. Вторая группа подстилок, характеризующаяся серией сопряжённых ферментативных подгоризонтов, представляющих собой последовательную систему растительных остатков различной степени разложенности, относится к ферментативному типу. Третья группа подстилок с хорошо выраженным гумифицированным подгоризонтом формирующимся в самой нижней части профиля подстилки относится к гумифицированному типу. Четвертая группа подстилок, в профиле которых диагностируется перегнойный горизонт, органо-минерального состава, относится к перегнойному типу. В эволюционном аспекте в идеале может быть построена следующая посдовательность типов подстилки: деструктивные L)-ферментативные (L-F1-_Fn)- гумифицированные(L-F1-_Fn-H)- перегнойные(L-F1-Fn-Аперг). При поступлении опада на поверхность мохового покрова опад преобразуется как на поверхности, так и между побегами мхов. В этом случае подгоризонты состоящие из остатков мхов различной степени разложенности представляют собой аналог ферментативных подгоризонтов. В зависимости от генезиса нижнего подгоризонта такие образования могут отнесены к инкрустированным ферментативным, гумифицированным или перегнойным типам подстилок(детритопрофилям).Даже при высокой степени заболоченности самые нижние погоризонты детритпрофилей могут быть представлены гумифицированными или перегнойными образованиями.Отметим, что Н. Я. Кац (1950) не исключал процессы гумификации даже в условиях мочажин.Это

положение было подтверждено в ходе исследований заболоченных лесных экосистем Приморского края.

Итак, процесс гумификации закономерно является инвариантным процессом, происходящим независимо от экологических условий, но есть ли место этому процессу в подгоризонтах подстилки формально не относящихся к гумифицированному варианту. Установлено, что гумификация как процесс диагностируется в любых подстилочных горизонтах по появлению мелкого детрита, размерностью менее 1мм, характеризующегося минимальным соотношением C:N (14-17), по сравнению с остатками мортмассы более крупного размера – соотношение C:N в детрите более 3 мм составляет 29-30. Следует отметить, что согласно результатам исследования хвойных насаждений Москвы (Семенюк и др., 2024), соотношение углерода и азота в ферментативных горизонтах примерно соответствует данному показателю в крупном детрите, тогда как в гумифицированном подгоризонте – мелкому детриту. Это явление было положено в основу диагностики интенсивности биологического круговорота на основании анализа компонентного состава подстилок. Нами предложены показатели структуры и функционирования подстилок как индикаторы биологического круговорота, в том числе запасы и доля детрита в подгоризонте L, высокие значения которых указывают на заторможенность разложения органического вещества опада. Другой показатель –отношение запасов подгоризонтов H и F к запасам подгоризонта L – также обратно связан с интенсивностью круговорота, но уже не в краткосрочном, а в долгосрочном цикле функционирования.

ХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И ВОЗМОЖНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ

Рижинашвили А.Л.
Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова
Российской академии наук, Москва
railway-ecology@yandex.ru

Полигумозные водоемы широко распространены в гидросфере, в особенности, на Севере и Северо-Западе Европейской России и в целом в умеренной и бореальной зоне Земли. Традиционно принято, что в поверхностные воды поступает путем вымывания из почвы водосбора терригенный гумус. В то же время известно, что гумусовые вещества (ГВ) водоемов отличаются по своим физико-химическим характеристикам, например, по молекулярной массе, от почвенных. Если это так, то вопрос об их происхождении и путях поступления пока остается не полностью решенным. Важным побудительным моментом решения проблемы являются возросшие масштабы браунификации – потемнения вод вследствие интенсификации выпадения осадков, что, в свою очередь, обусловлено глобальными климатическими изменениями. ГВ, будучи окрашенными соединениями, играют большую роль в функционировании водных

экосистем, содействуя нагреванию воды и в то же время затрудняя проникновение в водоемы солнечной радиации. Оптические свойства препаратов ГВ и воды, которую они окрашивают, по целому ряду причин наиболее доступны для изучения.

Проведено сравнительное изучение растворов (препаратов) гумусовых веществ (ГВ) и образцов речной воды с целью установления групповой принадлежности ГВ, растворенных в воде водотоков. Исследованы кривые светопоглощения и ряд оптических показателей (отношения оптических плотностей D при 465 нм и 670 нм, в УФ-области и при 440 нм; коэффициенты экстинкции $E^{ГВ}_{465}$, $E^{С}_{465}$, $E^{ГВ}_{540}$).

Установлено, что угол наклона кривой светопоглощения и оптические показатели проявляют типологическую специфичность, позволяющую достоверно разграничивать гуминовые (ГК) и фульвовые (ФК) кислоты. Выявлено, что соотношение D при 465 нм и 670 нм для ГК и ФК разного происхождения различается в среднем в 3,5 раза, что соответствует аналогичному масштабу отличий в их молекулярных массах.

Показано, что речные воды достоверно близки по набору показателей к фульвокислотам стандарта (из почвы водосбора), однако выявлены и черты, обособляющие их и сближающие с гуминовыми кислотами. Высказано предположение, что речные ФК, особенно из полигумозного водотока с заболоченным истоком, могут иметь б***о***льшую молекулярную массу, быть более ароматичными, и т.д.

Демонстрируется, что содержание органического углерода в растворах препаратов ГВ и в речной воде может быть вычислено по D при 315 нм.

ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНОГО СТРОЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ В РЕЛЬЕФЕ И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ.

Цомаева Е. В., Фарходов Ю, Р., Данилин И. В., Холодов В. А.
ФГБНУ ФИЦ Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва
tsomaeva_ev@esoil.ru

Органическое вещество – один из ключевых факторов устойчивости почв агроландшафтов, определяющий их продуктивность, противоэрозионную способность и роль в регулировании климата, поэтому его сохранение и воспроизводство являются обязательным условием устойчивого функционирования агроландшафтов. Для точного прогнозирования динамики углерода, а также характера трансформации почвенного органического вещества (ПОВ) особенно актуально изучение его структурных пулов: дисперсного и минерально-ассоциированного органического вещества. Основное внимание в исследованиях трансформации структурных пулов ПОВ уделено их содержанию и соотношению, тогда как вопросы трансформации их молекулярного состава

освещены в меньшей степени. Целью исследования было изучение особенностей молекулярного строения гранулометрических фракций агродерново-подзолистых почв в зависимости от их положения в рельефе и внесения удобрений.

В качестве объекта исследования выбраны почвы опытных полей Всероссийского НИИ мелиорированных земель (ВНИИМЗ). Отбор почвенных образцов проводили в апреле 2025 года из двух слоёв (0–5 и 5–15 см) пахотного горизонта на участках, различающихся по положению в рельефе и уровню внесения минеральных удобрений. Для изучения структурных пулов ПОВ методом гранулометрического фракционирования были выделены 4 фракции: >250 мкм, 250-50 мкм, 50-2 мкм и <2 мкм. Для физического разделения фракций использовались сита с соответствующим размером ячеек. Состав органического вещества фракций оценивали методом аналитического пиролиза с газовой хроматографией и масс-спектрометрией. Соотношение стабильных изотопов углерода и азота ($\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$) оценивали методом каталитического окисления с изотопной масс-спектрометрией. Статистическую обработку и визуализацию результатов анализа проводили с использованием языка программирования R в среде RStudio.

Аналитический пиролиз показал, что положение почв в рельефе влияет на состав ПОВ каждой из гранулометрических фракций. Во фракции >250 мкм, формирующейся на плакоре, накапливаются высококонденсированные ароматические молекулы, а также липидные компоненты: пиролизатами первых являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), а вторых – алканы и жирные кислоты (ЖК). В нижней части склона во фракции >250 мкм растёт доля углеводов и азотсодержащих соединений. Во фракции 50–250 мкм, формирующейся на плакоре, накапливаются липиды, а в низине в этой же фракции – компоненты фенольной природы (гуминовые кислоты, лигнин, таннины). Состав ОВ фракции 2–50 мкм на плакоре характеризуется относительным накоплением углеводов, а в низине – азотсодержащих, фенольных и липидных соединений. В составе ОВ фракции <2 мкм на плакоре отмечается относительное накопление ЖК и соединений фенольной природы, а в низине – увеличение доли высококонденсированных соединений, углеводов и некоторых липидов. Внесение удобрений и глубина пробоотбора оказали меньшее влияние на качественный состав ОВ фракций, чем рельеф, и тем не менее, для некоторых фракций можно было выделить закономерности. В слое 0–5 см преобладают компоненты дисперсного, а в нижележащем слое (5–15 см) – минерально-ассоциированного органического вещества, что закономерно обусловлено поступлением опада. Внесение удобрений заметнее влияет на нижележащий слой, что проявляется в накоплении пиролизатов стабильного органического вещества, представленного высококонденсированными ароматическими молекулами.

Таким образом, выявлены различия в молекулярном составе структурных пулов ПОВ, а также охарактеризован молекулярный состав переходных фракций, отражающих эти пулы, что подтверждает правомерность разделения ОВ на отдельные пулы с границей 50 мкм. Показано, что одним из доминирующих факторов, определяющим молекулярный состав фракций ОВ почв агроландшафтов, является рельеф, тогда как внесение минеральных удобрений влияют в меньшей степени.

КЛАССИФИКАЦИОННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПОЧВ ЧЕРНОЗЕМНОГО ТИПА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЛАБИЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Гарайшина А.В., Розанова М.С.
МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва
podlesnova.garaishina@gmail.com, rozanova_ms@mail.ru

Введение. Состояние органического вещества почвы и его фракций влияют на многие свойства и режимы почвы. Среди множества компонентов, формирующих органическую часть почвы, ключевую роль играют лабильные органические вещества (лабильные гумусовые вещества, лабильные гумусовые кислоты и водорастворимые органические соединения). Лабильные органические вещества обуславливают биологическую активность почвы, поскольку являются высокоэнергетическим субстратом для почвенных микроорганизмов, также принимают непосредственное участие в динамичных почвенных процессах. Цель исследования – оценить с точки зрения лабильных органических веществ и биологической активности классификационное положение почв (по 1977 и 2004 годам) черноземного типа.

Объекты исследования. Объектами исследования являлись черноземы юга лесостепной и севера степной зон. Методы исследования. Содержание органического углерода (Сорг) было определено методом Тюрина в модификации Никитина с титриметрическим окончанием. Водорастворимые органические вещества (Свов) были определены в последовательных вытяжках по методу Ghani A.C. et. al. (2003). Лабильные гумусовые вещества (Слгв) были определены в 0.1 н щелочной вытяжке с предварительным компостированием – по методике Почвенного института им. В.В. Докучаева. Ферментативная активность почв была оценена по активностям каталазы, дегидрогеназы и инвертазы. Базальное и субстрат-индуцированное дыхания определяли по Ананьевой Н.Д. Углерод микробной биомассы (Смик) рассчитывали по формуле: Смик (мкг С/г) = СИД*40,04+0,37.

Обсуждение результатов. Профильное распределение Свов, Слгв и Слгк в черноземах характеризуется незначительным, но постоянным снижением содержания вниз по профилю. Исключение составляет чернозем глинисто-иллювиальный глееватый, в профильном распределении которого наблюдается два максимума: первый максимум соответствует накоплению лабильных фракций органического вещества в верхней части профиля; второй максимум обусловлен водным режимом почвы. Максимальное относительное содержание Слгв (% от Сорг) наблюдается в нижней части профиля в черноземе глинисто-иллювиальном глееватом, сформированного в условиях периодического переувлажнения, что сопряжено с уменьшением содержания Сорг, а также выносом лабильных гумусовых веществ из верхней части профиля в нижележащие горизонты. Относительное содержание Слгк (% от Сорг), так же, как и Свов/Сорг (%), в черноземе глинисто-иллювиальном глееватом также имеет два максимума. Гумусовые горизонты характеризуются «средняя» и «богатая» степенью обогащенности почв каталазой по шкале Д.Г. Звягинцева. По сравнению с

остальными почвами в черноземе глинисто-иллювиальном глееватом активность фермента значимо возрастает вниз по профилю, как показал анализ НСР при уровне значимости 0,05. Гумусовые горизонты характеризуются «средняя» обогащенностью почв ферментом дегидрогеназой со снижением его активности вниз по профилю, за исключением горизонта AU_1 чернозема глинисто-иллювиального глееватого, у которого степень обогащенности вниз по профилю возрастает до «богатая». Гумусовые горизонты характеризуются средним уровнем обогащенности инвертазы. В то время как, горизонт AUrz хоть и также характеризуется «средней» степенью обогащенности по шкале Д.Г. Звягинцева, но при этом имеет самое высокое абсолютное значение среди исследованных почв. Дыхательная активность и Смик значимо снижены в черноземе глинисто-иллювиальном глееватом по сравнению с «классическими» черноземами.

Выводы. Профильное распределение лабильных фракций углерода в черноземе глинисто-иллювиальном глееватом отличается от остальных черноземов наличием двух максимумов. Доля лабильных фракций органического вещества увеличивается в черноземе глинисто-иллювиальном глееватом, что не свойственно «классическим» черноземам. Суммарная каталазная активность уменьшается вниз по профилю, за исключением чернозема глинисто-иллювиального глееватого. Все верхние части гумусового горизонта характеризуются «средней» обогащенностью дегидрогеназой, за исключением горизонта AU_1 чернозема глинисто-иллювиального глееватого, характеризующийся «богатой». Сравнительно наибольшая инвертазная активность была обнаружена в черноземе глинисто-иллювиальном глееватом. Несмотря на изменение своего классификационного положения чернозем глинисто-иллювиальный глееватый (лугово-черноземная почва по Классификации почв 1977 года) не обладает свойствами «классических» черноземов с точки зрения биологической активности и распределения лабильных фракций органического вещества.

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ ПОЧВЫ ВО ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ФК ПО АМФИФИЛЬНЫМ СВОЙСТВАМ

Колчанова К.А., Толпешта И.И., Изосимова Ю.Г.
МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва
kolchanovakseniia@yandex.ru

Введение. Сорбция органического вещества (ОВ) на минеральных компонентах почвы регулирует цикл углерода в биосфере: закреплённое на минералах ОВ устойчиво к деструкции и вымыванию, что обеспечивает его накопление в почве (Kleber et al., 2015; Kögel-Knabner et al., 2008). Поскольку закрепление водорастворимого органического вещества (ВОВ) на минералах определяет его дальнейшее передвижение по профилю, состав и свойства ВОВ имеют первостепенное значение для почвообразования (Роде, 1941). Особую роль в сорбции ОВ на минералах играют амфифильные свойства молекул;

фульвокислоты (ФК) как часть водорастворимого органического вещества, обладая одновременно гидрофильными и гидрофобными фрагментами, селективно взаимодействуют с компонентами минеральной матрицы. Целью данной работы было установить роль минеральной матрицы почвы во фракционировании фульвокислоты по амфифильным свойствам при их взаимодействии с твёрдой фазой почвы.

Объекты и методы исследований. Объектом исследования было взаимодействие фульвокислоты с минеральной матрицей, представленной илистыми фракциями и подфракциями ила, выделенными из торфянисто-подзолистой поверхностно-оглеенной почвы. Сорбцию изучали в лабораторных экспериментах при достижении равновесия. Для оценки роли отдельных компонентов илистой фракции почвы в сорбции ФК применяли последовательное удаление ОВ и несиликатных соединений Fe, а также фракционирование илистой фракции на подфракции, различающиеся по размеру частиц. Использовались следующие методы анализа: метод лазерной дифракции, рентгендифрактометрии, потенциометрического титрования, метод низкотемпературной адсорбции азота (БЭТ), хроматографии гидрофобного взаимодействия и гель-хроматографии. Содержание органического углерода и азота было определено на жидкостном и твердотельном CN-анализаторе.

Обсуждение результатов. Минеральная матрица почвы выступает ключевым фактором сорбции и фракционирования ФК по амфифильным свойствам, а её вклад определяется минералогическим составом, содержанием нативного ОВ и несиликатных соединений Fe, величиной удельной поверхности и размером пор. Сорбционные эксперименты проводились с илистыми фракциями, принципиально различающимися по своему составу: илистая фракция горизонта ELg была обогащена органическим веществом, а илистая фракция горизонта Ecng - несиликатными соединениями железа. В эксперименте по сорбции ФК на илистой фракции, обогащенной органическим веществом, наблюдалась десорбция Сорг в раствор, которая компенсировала сорбцию ФК и осуществлялась преимущественно за счет гидрофильных компонентов (75%). После удаления Сорг из илистой фракции, фульвокислота незначительно (0,007 мг/м^2) сорбировалась на иле, в основном за счет сорбции гидрофобных компонентов, однако десорбция нативного органического вещества продолжала наблюдаться. Удаление из ила несиликатных соединений железа привело к значительному увеличению сорбции ФК, которое происходило как за счет гидрофильных, так и гидрофобных компонентов. В илистой фракции, обогащенной несиликатными соединениями железа, сорбция ФК осуществлялась преимущественно за счет её гидрофильных компонентов; при удалении из илистой фракции органического вещества вклад в сорбцию гидрофильных компонентов дополнительно увеличивался за счёт освобождения поверхности оксигидроксидов Fe, селективно связывающих гидрофильные фрагменты. Удаление несиликатных соединений Fe обработкой ДЦБ резко снижало сорбцию ФК, преимущественно за счёт гидрофильной фракции, что подтверждает участие оксигидроксидов Fe в закреплении именно гидрофильных компонентов. В эксперименте на подфракциях ила была показана зависимость механизма сорбции от минералогического состава. В крупной подфракции (1,0–0,2 мкм), где

содержание каолинита с хлоритом достигает 65–67 %, преобладает сорбция гидрофобных компонентов; в тонких подфракциях возрастает вклад гидрофильных. Удельная поверхность растёт с уменьшением размера подфракций. Сорбция увеличивается с ростом площади мезо- и макропор, тогда как микропоры (3,6–3,8 нм) для сорбции молекул ФК (~20 кДа) были недоступны.

Выводы. Минеральная матрица почвы в значительной степени обуславливает сорбцию и фракционирование фульвокислот по амфифильным свойствам: на илистых фракциях с органическим веществом, преобладает десорбция гидрофильных компонентов, с оксигидроксидами железа - их селективная сорбция, с каолинитом - закрепление гидрофобных компонентов. Селективность сорбции важна для прогноза стабилизации $C_{орг}$ и описания взаимодействий ВОВ с минеральной матрицей.

FLOCCULATION OF COLLOIDAL BENTONITE AT THE RIVER-SEA GEOCHEMICAL BARRIER: THE ROLE OF CALCIUM IONS AND HUMIC ACIDS

Lasareva E.V., Parfenova A.M., Zaborova O.V.
Lomonosov Moscow State University, Chemical Department, Moscow
elasareva@yandex.ru

Studying the stability of mineral-organic dispersions at the river-sea mixing zone is relevant for assessing the mass transfer of river suspended matter components into the marine environment and for understanding the functioning of coastal ecosystems. This issue is particularly important today, as active permafrost thawing and increasing anthropogenic pressure on river ecosystems lead to an influx of additional dissolved organic matter (DOM) into the marine environment. The colloidal component of river runoff, specifically layered clay minerals, is of particular interest. Characterized by a high particle surface area and significant cation exchange capacity, this component determines the sorption potential of the river-sea geochemical barrier and the specific nature of sedimentation occurring there. The aim of this study was to investigate the stability of colloidal bentonite dispersions in the presence of DOM of various origins and divalent ions (Ca^{2+} and Mg^{2+}) at the river-sea geochemical barrier.

The influence of several factors, including the nature and concentration of system components on the coagulation and flocculation of colloidal bentonite was examined in a model experiment. Colloidal bentonite (0.3g/L, particle size 235 nm, ξ -36) has been isolated from clay of the Taganskoye deposit. Natural polysaccharide chitosan (Ch), Mw 83 kDa, degree of deacetylation 83%, (Bioprogress Co) was used as a flocculant, representing fresh DOM in the study. Humic acid (HA) from coal (leonardite) (Powerhumus, Humintech Ltd.) was used to represent highly transformed DOM. The concentrations of the studied components varied within ranges typical for natural waters.

Using turbidimetry and dynamic light scattering, the kinetics of bentonite particle aggregation were quantitatively assessed. It was established that HA in freshwater act

as a stabilizer for the colloidal system. However, with increasing concentrations of divalent ions, bentonite aggregation occurs. It was found that the Mg^{2+} ion is a more effective coagulant than the Ca^{2+} ion for pure clay. In seawater, ion exchange between clay Ca^{2+} and the dissolved Na^{+} ion in sea water results in a significant increase in the concentration of free Ca^{2+}in the solution. This enhances the role of Ca^{2+} in clay particle aggregation by neutralizing the negative charge of the functional groups of HA adsorbed on bentonite particles.

The greatest efficiency in removing river mineral particles occurs when they interact with in situ formed DOM acting as flocculants. It was shown that the co-presence of HA, flocculants and the divalent ions leads to the formation of large, loose aggregates (>800 nm), which can subsequently grow to even larger sizes through inter-aggregate bonding. It was shown that coagulation with salts prior the flocculant addition reduces the flocculation time. The synergistic effect of the system's components on the aggregation of mineral particles was observed. The experimental data are consistent with field studies that locate the flocculation zone at salinity below 12 ‰. A mechanism for floc formation analogous to the formation of metal organic frameworks (MOFs) is proposed. The combination of three types of structural elements–rigid clay platelets, flexible branched HA molecules and long chitosan chains–creates a three-dimensional network with a high proportion of free volume. Ca^{2+}/Mg^{2+} ions act as cross-linkers, bridging HA molecules with each other and with the clay surface. Chitosan binds the component into a single aggregate, while the swollen clay provides a mechanical framework. The precipitation of Ca^{2+} ions with the floccules leads to significant enrichment of seawater with magnesium ions. This mechanism, explains not only the differentiation of river suspended matter but also the redistribution of river derived $Ca^{2+}$and Mg^{2+}ions during their transfer to the sea.

The work was performed in the framework of the State Assignment "Colloidal Chemistry", number CITIS 121031300084-1

References

1. Lasareva E.V., Parfenova A.M., Romankevich E.A. Azovtseva N.A. Organo-mineral formations as a form of interaction between living and inert matter // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2026. – Vol. 16(1). – P. 1-14.

2. Lasareva E.V., Parfenova A.M. Effect of the nature of humic substances and ionic strength on the stabilization of colloidal bentonite. Book of abstracts 10-th Inter. Conf. of the CIS IHSS on Humic Innovative Technologies "Humic substances and plant raw materials in the context of a closed-loop economy", September 25-27, 2025, IB FRC Komi SC UB RAS Syktyvkar, Russia, eds Lodygin E. D., Perminova I.V. p. 35.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПАЛЕОПОЧВ ЗАБАЙКАЛЬЯ КАК ИНДИКАТОР КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЛИОЦЕНЕ

Вашукевич Н.В.
Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург
nadiav@bk.ru

Настоящее исследование является первым комплексным изучением гуминовых кислот (ГК) плиоценовых палеопочв Западного Забайкалья. Разрез местонахождения Удунга (долина р. Темник), открытый в 1985 г. Н.П. Калмыковым, датируется по смене русцинийского и виллафранкского фаунистических комплексов возрастом 4–2 млн лет и охватывает границу между ранним и поздним плиоценом (3,6 млн лет). Это делает его уникальным объектом для изучения трансформации органического углерода в условиях резких климатических перестроек.

Цель – реконструкция изменений состава и свойств гуминовых кислот в палеопочвах на рубеже раннего и позднего плиоцена и оценка их вклада в устойчивость пула органического углерода.

В Удунгинском разрезе снизу вверх выделены три педогенные зоны: 1 – ранний плиоцен, условия с максимальной теплообеспеченностью и увлажнённостью; зона 2/1 (460–350 см) –начало позднего плиоцена, иссушение климата; зона 2/2 (350–325 см) –конец позднего плиоцена, постепенное снижение теплообеспеченности и усиление увлажнённости.

Препараты ГК выделяли щелочной экстракцией по методике IHSS. Аналитический комплекс включал: твердотельную ^{13}C-ЯМР-спектроскопию (Bruker Avance NEO, 600 МГц ^{1}H, 151 МГц ^{13}C); ИК-спектроскопию (спектрометр IFS 25, Bruker); элементный анализ (C, H, N) на анализаторе CHNS/O Series II (PerkinElmer); изотопный анализ органического углерода и азота (δ^{13}C, δ^{15}N).

Результаты и обсуждение. В зоне 1 (ранний плиоцен, тёплые влажные условия) выявлены: высокая доля алкильных цепей (CHn 23,8–27,8 %) и незамещённых ароматических структур (CAr 26,7–27,9 %); низкое содержание углеводов (ΣCcarb 3,4–4,2 %) и фенолов (CArO 0,9–1,7 %); отношение ΣCAr/ΣCAl = 0,72; низкие значения H/C (0,69–0,75) из-за дефицита углеводов и повышенного содержания кетонных и хинонных групп (C=O 13,5–19,8 %). Зона 2/1 (начало позднего плиоцена, иссушение) характеризуется резким снижением доли алифатических цепочек (CHn 13,9–15,7 %) и ростом содержания фенолов (CArO 12,3–14,2 %); показатель ароматичности ΣCAr/ΣCAl увеличивается до 0,91–1,28; растет отношение H/C до 0,79–1,15 из-за снижения доли карбонилов (C=O 4,9–8,0 %) и увеличения углеводной компоненты (ΣCcarb 12,9–19,7 %). Зона 2/2 (конец позднего плиоцена, похолодание) - идет возврат алкильной алифатики (CHn 22,3 %); отмечены максимум углеводных компонентов (ΣCcarb 25,5 %) при минимуме ароматики (ΣCAr/ΣCAl 0,52; CAr 10,2 %) и кетонов (C=O 2,1 %); максимальное отношение H/C (1,51). Ключевые молекулярные индикаторы смены условий – динамика отношений ΣCAr/ΣCAl (0,72 → 0,91–1,28 → 0,52) и H/C (0,69–0,75 → 0,79–1,15 → 1,51). Стабильность изотопного состава углерода (δ^{13}C ≈ −26 ‰)

подтверждает постоянство С3-растительности и исключает смену растительного покрова как основную причину различий в составе ГК. По данным ИК-спектроскопии, карбонильный показатель (S(C=O ~1715 см$^{-1}$)/S(2800–3000 см$^{-1}$)) максимален в зоне 1 (0,100–0,110) и снижается в зонах 2/1 и 2/2 (0,023 и 0,025 соответственно).

Минералогические данные также отражают климатические изменения. В зоне 1 доминирует бейделлит (индикатор тёплого гумидного климата); в зоне 2/1 –смектит/мусковит; в зоне 2/2 –мусковит со следами смектита (индикаторы аридизации и похолодания).

Палинологические данные подтверждают тёплый умеренно влажный климат в период формирования нижней части разреза, В спорово-пыльцевом спектре преобладают экзотические сосны секций *Strobus u Cembrae, Abies, Podocarpus*. Фаунистический комплекс включает степные (гиппарион, газель), лесные (лангур, оленеобразные) и речные (бобр) формы, что указывает на мозаику ландшафтов от горно-лесного до лесостепного.

Заключение. Впервые для Забайкалья получены комплексные данные о структуре и свойствах гуминовых кислот плиоценовых палеопочв. Динамика отношений ΣCAr/ΣCAl и H/C отражает смену климатических условий: от тёплого гумидного оптимума (зона 1) к аридизации (зона 2/1) и похолоданию с усилением сезонности (зона 2/2). Состав растительности и климатические условия раннего плиоцена обусловили повышенную алифатичность ГК, что согласуется с современными материалами по средиземноморским лесным почвам, где алкильный углерод доминирует, составляя 38–48 % от общей площади спектра.

Полученные результаты расширяют представления о динамике почвенного углерода в плиоцене и могут использоваться в региональных моделях углеродного цикла, а также в качестве молекулярных маркеров при палеоклиматических реконструкциях континентальной Азии.

КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ РУЧЬИ

Огородняя С.А.[1,3], Дымов А.А.[2], Данченко Н.Н.[3], Зиганшина А.Р.[3], Холодов В.А.[3]
[1]АНОО ВО Научно-технологический университет «Сириус», федеральная территория Сириус
[2]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
[3]ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», г. Москва
ogorodnyayas@yandex.ru

Около 46% территории Российской Федерации занято лесными экосистемами, в почвах которых содержится примерно 144 Пг углерода. В связи с тем, что в лесах преобладает наземное поступление биомассы, крайне важна роль растворенного органического вещества (РОВ), связывание которого с

минералами является основным механизмом стабилизации углерода. РОВ является источником энергии и питательных веществ для почвенных микроорганизмов, определяет миграцию химических элементов, в том числе и загрязнителей, внутри почвы и в ландшафте в целом. РОВ почв чувствительно к процессу почвообразования. При этом РОВ является важнейшим источником поступления углерода из лесных экосистем в гидросферу, что формирует важность количественных оценок его стока в водотоки и изучение миграции составляющих РОВ с вертикальным и латеральным потоком влаги. Цель работы – выявить закономерности изменения состава РОВ в профиле подзолистой почвы под коренным ельником и оценить взаимосвязь РОВ подзолистой почвы и прилегающего водотока.

Для проведения исследования были выбраны объекты на территории Республики Коми: малонарушенный ельник черничный (Усть-Куломский район) и хвойно-лиственный лес (Сыктывдинский район). Для первого участка почвообразующими породами являются покровные суглинки, для второго – морена, подстилаемая песком. Природная зона – средняя тайга, почвы определены как подзолистые. Строение профиля следующее: O-EL-BEL-BT. Образцы почв отбирались из генетических горизонтов. Также были отобраны образцы воды ручьев, протекающих ниже по склону. При приготовлении водных вытяжек соотношение почва: вода составило 1:5 для минеральных горизонтов, 1:25 для подстилок. Определение содержания водоэкстрагируемых углерода (ВЭОС) и азота (ВЭN) в вытяжках проводили на анализаторе Shimadzu TOC-L CSN. Оптические свойства были исследованы методом УФ-видимой спектроскопии и спектрофлуоресценции. УФ-видимые спектры были получены на спектрофотометре Shimadzu UV-1800, флуориметрическую съемку проводили на спектрофлуориметре Shimadzu RF-6000.

На основе полученных данных по поглощению рассчитывали основные оптические показатели SUVA254, E2/E3, S275–295, S350–400 и S_R, которые отражают молекулярные массы фрагментов РОВ и особенности их состава. По матрицам флуоресценции были определены индексы hix, bix и fi, описывающие степень переработанности микробами РОВ и особенности строения флуоресцирующего РОВ. Проведен анализ полученных величин по почвенным генетическим горизонтам, для сравнения был выбран непараметрический дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса с последующим сравнением средних методом Данна. Значимые различия отмечались при p-value менее 0.01.

Выявлены значимые различия между подстилками, верхними и нижними минеральными горизонтами для рассчитанных индексов. Вытяжки из подстилок, как основного источника РОВ в тайге, имеют наиболее разнообразный молекулярный состав. S275-295 и E2/E3 увеличиваются вниз по профилю, достигая максимума в горизонте BT. Аналогично возрастают bix и fi, а hix значительно падает. Следовательно, при движении вглубь профиля структура РОВ упрощается в связи с сорбцией и микробной переработкой веществ подстилки. Возрастает вклад протеиноподобных структур.

Для ручьев показатели молекулярных масс S_R и E2/E3 и степени переработанности микробами (bix и fi) достаточно близки к верхним минеральным горизонтам, но при этом, судя по SUVA254 и hix, отмечается

крайне высокая степень ароматичности, при этом протеиноподобных составляющих очень мало либо они вообще отсутствуют. Среди гуминоподобных компонент преобладают структуры микробного происхождения, которые, вероятно, в почве активно сорбируются на поверхности минералов. Таким образом, РОВ верхних горизонтов в большей степени оказывает влияние на прилегающие водотоки по сравнению с нижними.

СОСТАВ И СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ

Сердюк В.В., Розанова М.С.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
lerases01@gmail.com, rozanova_ms@mail.ru

В настоящее время не существует единого мнения о направленности процессов образования и минерализации органического вещества (ОВ) погребенных почв, поэтому его изучение заслуживает особого внимания. Такие почвы лишены привноса свежего ОВ и сохраняют свойства и строение, характерные для условий активного развития почв. С одной стороны, происходит медленный процесс гумификации, при котором в гуминовых кислотах (ГК) увеличивается степень конденсированности. С другой – в почвах может происходить активная минерализация ОВ, приводящая к снижению содержания углерода органических соединений (Сорг). Показатели гумусного состояния почв напрямую зависят от биоклиматических условий, поэтому их изучение дает возможность проводить палеопочвенные и палеоклиматические реконструкции.

Цель: охарактеризовать состав и свойства препаратов гуминовых кислот (ГК), выделенных из почв со вторым гумусовым горизонтом.

Объектами исследования являются современные серые почвы и почвы со вторым гумусовым горизонтом, разрезы которых заложены на территории Крапивненского заказника (Тульская область) и Хреновского бора (Воронежская область). Было выделено и очищено 10 препаратов ГК из гумусовых горизонтов.

Методы исследования препаратов ГК. Выделение и очистка ГК проведены по методу Д.С. Орлова и В. Мотока, зольность определена в муфельной печи методом сухого сжигания при 970ºС, элементный состав определён на элементном анализаторе «ECS» (NC Technologies, Италия) в токе кислорода при температуре 1150ºС, молекулярные массы ГК определены методом ВЭЖХ Agilent 1100, оптические свойства препаратов ГК определены на спектрофотометре СФ-2000 при длинах волн 465 нм и 650 нм, инфракрасные спектры поглощения препаратов ГК сняты на ИК-спектрометре «Tenzor 27» в интервале 4000-400 $см^{-1}$ с применением KBr-техники.

Проведенные исследования показывают отличия в элементном составе $ГК_{погреб}$ и $ГК_{верх}$. $ГК_{погреб}$ отличаются меньшим содержанием углерода (от 53,76% до 55,15%) по сравнению с $ГК_{верх}$ (от 58,14% до 63,11%). На основе рассчитанных показателей степени окисленности (*fc*) и структурного индекса (*fc*) были

выявлены отличия в предполагаемой структуре ГК. Структура $ГК_{погреб}$ преимущественно конденсированно-ароматическая, а $ГК_{верх}$ – ароматическая. По степени окисленности ГК преимущественно сильноокисленные. С помощью графико-статистического анализа по Ван-Кревелену были показаны главные химические изменения, которые отражают предположительные изменения в структуре ГК. Преобладающие процессы деметелирования и дегидрогенизации в $ГК_{погреб}$ могут свидетельствовать о повышенной конденсированности. На графиках молекулярно-массовых распределений в $ГК_{погреб}$ преобладает низкомолекулярная фракция (НМФ), что является следствием увеличения возраста погребенных почв и трансформацией высокомолекулярных соединений в низкомолекулярные. Рассчитанные спектральные показатели (коэффициенты экстинкции, цветности, доля ароматического углерода в ГК) позволяют сделать вывод о высокой относительной устойчивости $ГК_{погреб}$ по сравнению с $ГК_{верх}$, что также подтверждает гипотезу об увеличении ароматичности и конденсированности молекул ГК с течением времени.

Выводы. Для $ГК_{погреб}$ характерна высокая оптическая плотность, степень конденсированности и ароматичности, в то время как для $ГК_{верх}$ – низкая и очень низкая, что подтверждается коэффициентами экстинкции и цветности. Молекулярно-массовые распределения (ММР) $ГК_{погреб}$ отличаются от ММР $ГК_{верх}$. В ММР ГК погребенных горизонтов преобладает НМФ (более «зрелые» компоненты), что и характерно для почв с более длительным формированием. Средневзвешенные ММ $ГК_{верх}$ в 1,5-2 раза выше, чем $ГК_{погреб}$. ГК отличаются по типу молекулярной структуры – $ГК_{погреб}$ имеют более конденсированную структуру. На основе графико-статистического анализа по Ван-Кревелену были выявлены различия в структуре $ГК_{погреб}$, и $ГК_{верх}$. В $ГК_{погреб}$ выражены процессы деметилирования и дегидрогенизации. Это может свидетельствовать о повышенной конденсированности $ГК_{погреб}$. В $ГК_{погреб}$ на ИК-спектрах выраженность полос и их интенсивность отличается от $ГК_{верх}$, что подтверждает предположение о том, что периферическая часть молекулы ГК здесь выражена слабее, чем в ГК современных почв: более интенсивное поглощение в области 1716-1717 $см^{-1}$ и 1616-1628 $см^{-1}$ свидетельствуют о высокой ароматичности или о наличии большого «ядра» ГКпогреб.

МОДИФИКАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ PY-GC-MS ЕГО АГРЕГАТОВ

Юрова А., Фарходов Ю.
Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва
yurova_ay@esoil.ru

Введение. Устойчивость органического вещества почвы (ОВП) в черноземах в значительной степени контролируется обменным кальцием (Ca^{2+}). В текущем виде модель непрерывного качества (Q-модель Г. Агрена) не

учитывает механизмы стабилизации соединений ОВП за счет кальция, создавая искусственный порог, ниже которого не проходит трансформация. Цель данной работы – разработать модифицированную кальций-зависимую модель непрерывного качества ОВП, верифицированную молекулярными маркерами Py-GC-MS для шкалы качества по размеру агрегатов.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились на типичных черноземах в условиях многолетнего сукцессионного и агрогенного градиента: целинная степь (заповедник им. В.В. Алехина), бессменный чистый пар (78 лет), интенсивная вспашка (60+ лет), залежь (28 лет) и ресурсосберегающий режим No-Till (10 лет). Образцы верхнего слоя (0–10 см) разделяли методом сухого рассева на 7 фракций структурных агрегатов от мега- (>2 мм) до ультрамикроагрегатов (<0.063 мм). В каждой фракции определяли содержание органического углерода (C_{org}), обменного кальция (Ca^{2+}) и исследовали молекулярный состав ОВП методом флэш-пиролиза (Py-GC-MS) при температуре 500 °C.

Обсуждение результатов. Анализ пиролизатов выявил сильную нелинейность стабилизации ОВП вдоль агрегатного континуума, опровергающую гипотезу о монотонном росте стабильности углерода по мере уменьшения размера частиц. В ультрамикроагрегатах (<0.063 мм) обнаружена высокая корреляция между Ca^{2+} и лабильными азотсодержащими фрагментами микробной некромассы ($r \geq 0.86$). В стабильных мезоагрегатах (0.25–1 мм) зафиксирован абсолютный максимум корреляции между обменным кальцием, сконденсированными полиароматическими углеводородами и алифатическими липидами. Это доказывает, что мезоагрегаты служат главным биогеохимическим резервуаром долгоживущего углерода, где Ca^{2+} выполняет роль каталитического мостика для поликонденсации стабильных гумусовых матриц.

Для математического описания обнаруженных закономерностей была модифицирована Q-модель. Параметр шага потери качества (η_{11}) был трансформирован в кусочно-линейную функцию от концентрации Ca^{2+}, а введение ступенчатого снижения экспоненты минеральной защиты (β) ниже порога качества q_{crit} позволило преодолеть ограниченность классического уравнения и описать бимодальность. Модель успешно воспроизвела долгосрочную динамику потерь ОВП в бессменном пару за 78 лет. Сценарное моделирование показало, что вспашка разрушает мезоагрегатные «убежища», а технология No-Till восстанавливает механизмы связи.

Выводы. Модифицированная непрерывная модель успешно соотносит размер агрегатов и химическое кальций-зависимое связывание, позволяя прогнозировать эффективность технологий секвестрации углерода в черноземах на уровне физико-химических процессов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10062 П

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ТОРФОВ, ИХ МОДИФИКАЦИЯ И РОЛЬ В БИОСФЕРЕ

Инишева Л.И.[1], Юдина Н.В.[2], Соколова И.В.[3], Чайковская О.Н.[3,4]
[1]Томский государственный педагогический университет, Томск
[2]Институт химии нефти СО РАН, Томск
[3]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск,
[4]Институт электрофизики УрО РАН Екатеринбург
inisheva@mail.ru; natal@ipc.tsc.ru; sokolova@phys.tsu.ru; tchon@phys.tsu.ru

Среди природных ресурсов, торф занимает особое место по сложности своего состава и строения, а также наличию широкого класса химических веществ и соединений. Особое внимание уделяется гуминовым веществам (ГВ). За период исследований состава и свойств ГК западносибирских торфов, число видов которых достигает 178, были использованы разные методы и способы их изучения. Изучена антиоксидантная активность ГК, которая показала, что в составе ГК торфов, обогащенных водородом и кислородом, преобладают алифатические и ациклические фрагменты и кислые функциональные группы, а ее активность в зависимости от pH среды определяют соединения, включающие –OH- и –NH-связи. Значения критерия антиоксидантной активности для ГК снижаются с уменьшением основности с pH 10 до pH 5.5. Особое внимание также уделено степени преобразования ОВ в процессе торфогенеза и было показано, что в системе торфообразователи – гумифицированные растения – торф наблюдается постепенное увеличение полидисперсности, оптической плотности, значений средних молекулярных масс ГК.

В плане модификаций ГК торфов с целью целенаправленного изменения фрагментного состава ГК были проведены ряд модельных экспериментов. Так, механохимическая модификация ГК в присутствии оксигидроксидов железа позволила получить редокс- активные гуминовые производные за счет увеличения содержания функциональных групп (фенольных, карбоксильных, метоксильных групп) и хиноидных фрагментов и в том числе было подтверждено повышение каталитической их способности. Применение метода механоактивации к ГК верхового торфа месторождения "Темное" Томской области привело к увеличению их способности к тушению флуоресценции полициклических ароматических углеводородов и повышению детоксицирующих свойств ГК по отношению к фунгициду тебуконазолу [1]. Проведенное исследование воздействия импульсного электронного пучка на водный раствор фенола в присутствии смеси ГК и ФК (верховой торф Мезенский район, Архангельская обл.) показало увеличение эффективности трансформации фенола в 2.6 раза.

И наконец, обратимся к средообразующей роли болотных отложений в природе и рассмотрим на примере выноса ГВ и углерода с ландшафтного профиля (ЛП) заболоченного водосбора (южная часть Васюганского болота) с годовым стоком в 70 мм воды. По всем позициям ЛП концентрация ГК в болотных водах изменялась от1.3 до 19.6 мг/л, ФК - от 20.5 до 95.5 мг/л. В болотной воде

автономной позиции ЛП соотношение оптических плотностей гидроксильных групп D3400/D1460 колеблется от 0.89 до 1.49, фенольных гидроксилов D1270/D1460 – 0.78–0.86, карбоксильных групп D1720/D1460 – 1.16–1.28 и ароматических фрагментов D1620/D1460 – 1.20–1.85. В стоке трансаккумулятивной позиции повышается доля фенольных гидроксилов D1270/D1460 до 0.96 и карбоксильных групп D1720/D1460 – 1.73 по сравнению с автономной позицией, что объясняется структурно-групповым составом ГК торфяных залежей ЛП согласно значениям спектральных коэффициентов. Расчеты показывают, что вынос углерода в форме ГК (29 кг/км^2 в год) достигает в отдельные периоды 98% от общего выноса углерода поверхностным и внутриболотным стоком, при этом наибольшая доля принадлежит углероду ФК [2].

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, проект No. FSWM-2025-0007.

Список использованной литературы

1. Нечаев Л.В., Чайковская О.Н., Соколова И.В., Савельева А.В., Юдина Н.В., Мальцева Е.В. Влияние модельного солнечного излучения на взаимодействие гуминовых кислот с нафталином // Журнал прикладной химии. – 2013. –Т. 86. – Вып. 4. – С. 547-552

2. Савельева А.В., Юдина Н.В., Инишева Л.И. Характеристика гуминовых кислот в системе геохимически сопряженных болотных ландшафтов // Химия твердого топлива. – 2020. – № 5. – С. 3–9.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПИРОГЕННОГО ФАКТОРА

Чебыкина Е.Ю., Низамутдинов Т.И., Абакумов Е.В.
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
e.chebykina@spbu.ru

Пожары являются общепланетарным явлением и оказывают влияние на все компоненты экосистем, включая почвы. Они имеют глобальный характер и могут способствовать неожиданным изменениям в составе атмосферы, которые трудно спрогнозировать. Выбросы углекислого газа в результате учащения пожаров могут привести к эскалации глобального потепления. Поэтому актуальность работ по изучению влияния пожаров на лесные экосистемы в последние годы значительно возрастает. Органическое вещество бореальных почв играет важную роль в глобальном углеродном цикле планеты. Однако пирогенные компоненты органического вещества практически не учитываются. Чтобы оценить влияние глобальных изменений климата на скорость связывания почвенного органического вещества и его стабильность, необходимо исследовать как количество, так и структурную стабильность органического вещества для бореальных сред.

Для изучения молекулярного состава органического вещества постпирогенных почв были выбраны лесные экосистемы Северо-Запада России

(в Новгородской, Ленинградской, Псковской областях, республиках Карелия и Коми), подвергшиеся воздействию катастрофических лесных низовых пожаров. Участки были изучены в 2022-2024 гг. В качестве контроля использовали несгоревшие участки леса с таким же типом почв на значительном удалении от пирогенного воздействия.

Элементный состав гуминовых кислот является важнейшим показателем, определяющим ход гумификации, окисления и степень конденсации гуминовых кислот. Элементный состав гуминовых кислот варьирует в достаточно широких пределах, что связано с высокой неоднородностью локальных условий образования и созревания гуминовых кислот в почве. Основными факторами, влияющими на формирование гуминовых кислот, являются состав предшественников гумификации, скорость гумификации и климатические параметры территории.

На основании проведенных исследований получен массив данных по элементному составу препаратов гуминовых кислот почв после пожаров, который позволил выявить закономерности трансформации органического вещества. Полученные данные наглядно показывают, что гуминовые кислоты почв пожарищ и фоновых участков формируют достаточно разнородные группы. Главным отличием в степени неоднородности групп гуминовых кислот является отношение водорода, кислорода и углерода. При высоких температурах происходит одновременное уменьшение атомных отношений H/C и O/C, что указывает на небольшую потерю кислородсодержащих функциональных групп, при этом степень ароматизации молекул увеличивается. Для проб после пожаров характерна дегидрогенизация молекул гуминовых кислот. Дегидрогенизация может происходить либо в результате потери водорода (абсолютная дегидрогенизация), либо в результате окисления (относительная дегидрогенизация). В то же время в молекулах гуминовых кислот почв пожарищ возрастает количество углерода – это свидетельствует о том, что происходит частичная деградация периферийной части молекул, что является еще одной причиной дегидрогенизации. Пониженное содержание кислорода и уменьшение отношения O/C после пожаров свидетельствует о потере периферических фрагментов молекулами гуминовых кислот, что изменяет окислительно-восстановительный баланс в молекулах. Степень окисленности гуминовых кислот является важной их характеристикой. По степени окисления (O/C) можно сделать вывод, что в почвах в окислительных условиях протекают активные процессы трансформации органического вещества.

Очевидно формирование в почве трудногидролизуемого компонента black carbon – так называемого «черного» органического углерода – высокоароматических соединений, образующихся в результате окислительных процессов. Периодические пожары нарушают процессы гумусообразования и вносят коррективы в качественный и количественный состав гумусовых веществ и стадийность протекания процессов гумификации. Таким образом, пирогенное воздействие значительным образом воздействует на региональный и глобальный цикл углерода, изменяя как его продукционный, так и деструкционный блоки.

Работа выполнена при поддержке РНФ № 26-16-20034, соглашение с РНФ от 12.05.2026 и договор с СПбНФ от 10.06.2026.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ БУРОЗЕМА И БУРОЗЕМА-КАРМАНА ПО ДАННЫМ ^{13}С-ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ (ДАРХИТУЙ, ЮГ ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ)

Чимитдоржиева Э.О.[1,2], Корсунова Ц.Д-Ц.[1], Цыбенов Ю.Б.[1]
[1]Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г.Улан-Удэ
[2]Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г.Улан-Удэ
erzhena_ch@mail.ru

Современные исследования показывают, что ^{13}С-ЯМР-спектроскопия остаётся одним из наиболее информативных методов оценки молекулярного состава гуминовых кислот, позволяя количественно охарактеризовать соотношение алифатических, ароматических, карбоксильных и карбонильных структур. Повышенная ароматичность и доля окисленных углеродсодержащих групп связаны с большей степенью гумификации и устойчивостью органического вещества почв, тогда как преобладание алифатических фрагментов указывает на сохранение менее трансформированных органических компонентов.

Объекты исследования – буроземы юга Витимского плоскогорья местности Дархитуй. Для обеспечения ясности и однозначности в обозначении почвенных образцов далее в тексте используются следующие обозначения препаратов ГК почв: «ГК Бурозем А» – образец почвы, взятый из гумусово-аккумулятивного горизонта бурозема. «ГК Бурозем карман» – почвенный материал, отобранный из гумусового кармана бурозема. ГК извлекали из образцов почвы в соответствии с методом, рекомендованным Международным обществом гуминовых веществ.

В гуминовых кислотах горизонта А бурозема алифатические и ароматические структуры представлены в относительно близких соотношениях. Доля незамещённых алифатических атомов углерода составляет 19 %, а содержание углерода спиртовых, эфирных и аминных групп – 17,7 %. На ацетальные атомы углерода, связанные преимущественно с углеводными компонентами, приходится только 3 %. Это указывает на незначительный вклад полисахаридных структур.

Наиболее интенсивная область спектра гуминовых кислот бурозема соответствует ароматическим атомам углерода. Их доля достигает 29,5 %. Замещённые ароматические структуры, включая фенольные фрагменты, составляют 8 %. Карбоксильные, сложноэфирные и амидные атомы углерода составляют 17,4 %, что свидетельствует о выраженной окисленности гуминовых кислот и наличии реакционноспособных функциональных групп. Содержание кетонных и хинонных структур составляет 6 %.

В гуминовых кислотах бурозема-кармана отмечено более выраженное преобладание ароматических структур. Содержание алифатических атомов углерода составляет 11,6 %, что существенно ниже, чем в буроземе. Доля функционализированных алифатических структур, связанных с кислородом и азотом, равна 11 %. Содержание ацетальных атомов углерода достигает только 4 %, подтверждая незначительное участие углеводных и полисахаридных компонентов.

Сравнительный анализ показывает, что гуминовые кислоты бурозема содержат больше алифатических фрагментов: их суммарная доля составляет 39,7 %, тогда как в гуминовых кислотах гумусового кармана – 26,6 %. Напротив, суммарная доля ароматических и замещённых ароматических структур увеличивается с 37,5 % в буроземе до 48,7 % в гумусовом кармане. Доля кетонных и хинонных групп в гуминовых кислотах гумусового кармана также выше – 8 % против 6 %.

Таким образом, по данным ^{13}C-ЯМР-спектроскопии гуминовые кислоты бурозема-кармана отличаются от гуминовых кислот горизонта А бурозема преобладанием ароматических структур и меньшим содержанием алифатических компонентов, что указывает на более глубокую гумификацию, конденсацию и структурную устойчивость органического вещества. Гуминовые кислоты горизонта А бурозема характеризуются умеренной ароматизацией, сохранением значительной доли алифатических фрагментов и меньшей степенью окисленности.

Исследование выполнено по теме гос. задания №126021217181-4.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ДИСПЕРСНО-КАРБОНАТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Задорина И.О.[1], Чимитдоржиева Э.О.[1,2], Корсунова Ц.Д-Ц.[2]
[1]Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ [2]Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ
erzhena_ch@mail.ru

Гуминовые кислоты являются одной из наиболее устойчивых и реакционноспособных фракций почвенного органического вещества, участвующей в стабилизации углерода. Их свойства определяются не только набором функциональных групп, но и молекулярной неоднородностью, степенью ароматичности и условиями органо-минерального взаимодействия. При этом элементный состав и атомные отношения широко применяются для оценки конденсированности, окисленности и направленности трансформации гуминовых кислот.

Элементный состав гуминовых кислот (ГК) отражает особенности их молекулярного строения и направленность процессов гумификации. Для наиболее полной характеристики содержание элементов выражено в атомных процентах (ат.%), поскольку этот способ позволяет точнее оценить участие отдельных элементов в построении органического вещества.

Цель работы - охарактеризовать элементный состав гуминовых кислот дисперсно-карбонатных чернозёмов Тугнуйской котловины Западного Забайкалья и сопоставить его с показателями чернозёмов европейской части России.

Объекты исследования – черноземы дисперсно-карбонатные Тугнуйской котловины. ГК извлекали из образцов почвы в соответствии с методом, рекомендованным Международным обществом гуминовых веществ. Содержание элементов выражали в атомных процентах. Для сравнительного анализа использовали опубликованные данные об элементном составе ГК чернозёмов европейской части России [Орлов, 1990].

Гуминовые кислоты дисперсно-карбонатных чернозёмов содержат 38,7 ат.% углерода, 32,9 ат.% водорода, 2,5 ат.% азота и 25,2 ат.% кислорода. В ГК чернозёмов европейской части России содержание углерода достигает 42,5 ат.%, водорода - 35,2 ат.%, азота - 2,4 ат.%, тогда как доля кислорода составляет 19,9 ат.%.

Таким образом, забайкальские чернозёмы характеризуются меньшим содержанием углерода на 3,8 ат.% и водорода на 2,3 ат.%, но большей долей кислорода на 5,3 ат.%. Содержание азота практически одинаково, различие составляет всего 0,1 ат.%.

Атомное отношение H:C в ГК дисперсно-карбонатных чернозёмов составляет 0,85 и близко к значению, установленному для чернозёмов европейской части России - 0,83. Это указывает на сопоставимое соотношение алифатических и ароматических фрагментов. Более выраженные различия выявлены по отношению O:C, в исследованных ГК оно равно 0,65, тогда как в европейских чернозёмах - 0,47. Повышенное значение O:C свидетельствует о большей доле кислородсодержащих функциональных групп и более высокой окисленности гуминовых кислот дисперсно-карбонатных чернозёмов.

Отношение C:N составляет соответственно 15,5 и 17,7. Более низкое значение в дисперсно-карбонатных чернозёмах отражает несколько большую относительную обеспеченность ГК азотом. Наиболее существенное различие отмечено по степени бензоидности: для забайкальских чернозёмов она равна 17,0, а для чернозёмов европейской части России - 32,4. Это свидетельствует о меньшей доле конденсированных ароматических структур в ГК дисперсно-карбонатных чернозёмов.

Таким образом, гуминовые кислоты дисперсно-карбонатных чернозёмов Западного Забайкалья отличаются от ГК чернозёмов европейской части России меньшим содержанием углерода и степенью бензоидности, а также повышенными содержанием кислорода и отношением O:C. При близких значениях H:C выявленные различия указывают на более высокую окисленность и меньшую конденсированность молекулярных структур гуминовых кислот дисперсно-карбонатных чернозёмов.

Исследование выполнено по теме гос. задания №126021217181-4.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В ПОЙМЕННЫХ ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГА

Корсунова Ц. Д-Ц., [1]Чимитдоржиева Э.О.,[1] Балданов Н. Д.[2] Валова Е.Э.[3]
[1]Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ
[2]Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, Улан-Удэ
[3]Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, г. Улан-Удэ
zinakor23@yandex.

Введение: исследования проводили в дельте р. Селенга, расположенной в центральной зоне юго-восточного побережья оз. Байкал. Она представляет собой предгорную тектоническую впадину площадью 1 120 км2, заполненную аллювиальными и делювиальными отложениями. Её территория находится в пределах Кабанского района Республики Бурятия и характеризуется значительным разнообразием экологических условий, сложностью геоморфологического строения и разной степенью гидроморфности. Климат района резко континентальный, несколько смягченный влиянием оз. Байкал. Годовая сумма осадков достигает 400 мм, основная их часть выпадает во второй половине лета. Среднегодовая температура –1°С, средняя температура января – 25°С, июля – +21°С. Коэффициент континентальности в межгорных впадинах Забайкалья достигает 85–90, а на побережье Байкала снижается до 67–73 [35]. Относительная мягкость климата благоприятно сказывается на продуктивности фитоценозов и процессах гумусообразования. Грунтовые воды в пойме залегают на глубие 0,5–3 м, в надпойменных террасах – на глубине 8–15 м. Дренированность территории дельты Селенги и промывка подтопляемых зон байкальскими водами ограничивает возможность засоления почв. Тем не менее благодаря засушливому весенне-раннелетнему периоду встречается аккумуляция веществ на испарительном барьере. Несмотря на длительную историю изучения, на большое число выполненных работ, обсуждение проблемы ГК на современном уровне составляет предмет особого исследования. В сложившейся ситуации изучение состава гуминовых кислот как основы устойчивости экосистемы Байкала является актуальной задачей.

Объекты наших исследований - аллювиальные луговые почвы, лугово-болотные, а также препараты гуминовых кислот (ГК), выделенные из аллювиальных луговых и лугово-болотных почв дельты реки Селенги. Методы: определение элементного состава гуминовых кислот аллювиальной луговой и лугово- болотной почвы, проводилось на автоматическом элементном CHN-анализаторе в 3-х повторностях. Содержание кислорода рассчитывалось по разности. Данные по результатам анализа, пересчитанные на беззольную навеску.

Обсуждение: анализ ^{13}С-ЯМР-спектров препаратов ГК исследованы почв позволил выделить диапазоны химических сдвигов, принадлежащих атомам углерода различных функциональных групп и молекулярных фрагментов. Данные ЯМР-спектроскопии показали, что гуминовые кислоты аллювиальной

луговой почвы более обогащены ароматическими фрагментами, чем гуминовые кислоты лугово-болотных.

Формирование в поймах р. Селенги аллювиальных почв с разным содержанием C, H, O, N и с различными функциональными группами в гуминовых кислотах обусловлено биоклиматическими условиями, связанными с длительным нахождением их в мерзлотном состоянии, режимом грунтовых вод, составом отложений, видовым составом растений. Несколько большая степень ароматичности в аллювиальной луговой и лугово-болотной почве связана с экологическими условиями и химическим составом предшественников гумификации.

Полученные данные о составе ГК позволяют заключить, что изменения элементного состава сопровождаются изменениями состава и структурных особенностей гуминовых кислот. В целом ГК аллювиальной луговой почвы более обогащена ароматическими фрагментами, чем ГК лугово-болотных почв.

ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД, ОКРАСКА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ ОТВАЛОВ МЕЛОВЫХ КАРЬЕРОВ В РЕЖИМЕ ПОСТТЕХНОГЕННОЙ РЕНАТУРАЦИИ

Хуан Л.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия;
lhhuang0@163.com

Процессы достижения состояния зрелого растительного сообщества и накопления органического углерода (Сорг) в почве не всегда синхронны. Цель работы – сопоставить содержание Сорг, окраску сухой почвы и валовый химический состав почв отвалов меловых карьеров в районе Белгорода при разной длительности природного восстановления.

Автором исследованы 14 участков с длительностью восстановления в диапазоне 6–39 лет. Её оценивали по летним медианным композитам Landsat 5, 7, 8, 9 за 1985–2025 гг. с трёхлетним скользящим усреднением. Сочетание NBR≤0,2475 и BSI≥−0,0072 не менее двух лет подряд указывало на нарушение. После последнего периода со слабо развитой растительностью первый год устойчивого превышения NDVI порога 0,2714 принимали за Y_s; длительность рассчитывали как $2025-Y_s+1$ и проверяли по историческим снимкам Google Earth Pro. Этот показатель характеризует примерную продолжительность устойчивого восстановления растительности. Сорг в парных пробах A1 и C определяли титриметрически с использованием соли Мора; ΔСорг=Сорг(A1)−Сорг(C). Окраску сухих проб оценивали по цветовой системе Манселла по изменению светлоты (Value (V)): $\Delta V=V_C-V_{A1}$ и относительного потемнения ОП=$\Delta V/V_C$. Анализировали также валовое содержание CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 в гор. A1 и их соотношения (рис. 1). При статистической обработке применяли парный

критерий Вилкоксона и корреляцию Спирмена, а для аппроксимации зависимостей использован методом наименьших квадратов.

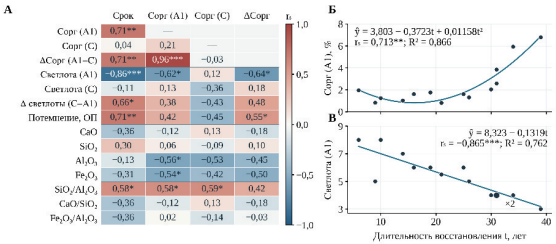


Рисунок 1 – Корреляции Спирмена (А) и связи Corг(A1) (Б) и светлоты A1 (В) с длительностью восстановления. t – длительность восстановления, лет; ŷ – расчётное значение; R^2 – коэффициент детерминации; r_s – коэффициент Спирмена. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001. ×2 – два совпадающих наблюдения.

Горизонт C почв неоднороден: содержание Corг находилось в пределах 0,034–1,141%, светлота – 4–8. Межгоризонтные разности (A1 и C) характеризуют рановременную дифференциацию каждого профиля. Для одновозрастных рекультивированных технозёмов показаны связи Corг со свойствами субстрата и рельефом [1]. На отвалах медных рудников описаны различия окраски и геохимического состава новообразованных почв и почвообразующих пород [2]. В нашем исследовании на всех участках Corг(A1)>Corг(C) (p<0,001); средние значения – 2,375 и 0,363%, средняя разность – 2,012 процентного пункта. Длительность восстановления связана с Corг(A1) и ΔCorг (r_s=0,713 и 0,708; p<0,01), для Corг(C) r_s=0,037. Обогащение почвы углеродом сопровождается потемнением. Наиболее тесная связь выявлена со светлотой A1 (r_s=−0,865; p<0,001). Для ΔV и ОП r_s=0,656 и 0,710 (p<0,05), для светлоты A1 и Corг(A1) r_s=−0,615 (p=0,022).

Содержание CaO в A1 варьировало от 0,580 до 24,765%, SiO_2 – от 8,941 до 86,420%. Corг(A1) отрицательно связан с Al_2O_3 и Fe_2O_3 (r_s=−0,560 и −0,538), положительно – с SiO_2/Al_2O_3 (r_s=0,582; исходные p<0,05). CaO характеризует кальцийсодержащую составляющую, а SiO_2/Al_2O_3 – соотношение кремний- и алюминийсодержащих компонентов. Таким образом, в гор. A1 Corг(A1) и светлота отражают восстановительный градиент, а валовый состав и парное сравнение с гор. C характеризуют различия минерального фона профилей и степень реализации педогенных процессов.

Список использованных источников

1. Kozłowski M. Effect of topography and properties of parent materials on organic carbon content in technosols of a post-mining lignite site // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – ID. 33620.

2. Лисецкий Ф.Н., Ткачев В.В. Разновозрастные почвы техногенных ландшафтов в крупнейшем восточноевропейском меднорудном районе древности (Каргалинские рудники, Оренбургская область, Россия) // Почвоведение. – 2026. – № 7. – С. 1277–1302.

СЕКЦИЯ 4
БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ И МЕТОДЫ ЕЕ ОЦЕНКИ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ БУРЫХ УГЛЕЙ

Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Вотолин К.С.
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
sizh@yandex.ru

В контексте смены парадигмы использования угля как сырья для сжигания на его комплексную переработку, особо интересны окисленные и неокисленные бурые угли, обладающие значительным химическим потенциалом [1-3]. Примером востребованных продуктов являются гуминовые вещества (ГВ), которые представляют собой сложную смесь фрагментов органической массы угля, образованных в результате разложения и преобразования растительных остатков.

Из бурых углей Канско-Ачинского и Южно-Уральского угольных бассейнов были выделены фракции гуминовых веществ: гуминовые кислоты (ГК), гиматомелановые кислоты (ГмК), гумусовые кислоты (ГуК) и фульвокислоты (ФК). Естественно-окисленный бурый угольТисульского месторождения Канско-Ачинского угольного бассейна характеризуется максимальным выходом гуминовых веществ: ГК –60.9% (из них ГмК – 11.3%, ГуК – 49.6%), ФК – 9.6%. Исследуемые фракции гуминовых веществ исследованы с помощью ^{13}С-ЯМР (*CPMAS*) спектроскопии, технического и элементного анализа. Показано, что все фракции ГВ обладают специфическим элементным и структурно-групповым составом. Водные растворы натриевых солей ГК, ГуК, ГмК и ФК использовали для оценки биологической активности, результаты которой по отношению к семенам пшеницысорта «Афродита» представлены в таблице 1.

Таблица 1. Биологическая активность ГК, ФК, ГуК и ГмК Средние значения по всем исследуемым углям. Индекс фитоактивности (ИФ) вычислялипо формуле ИФ=((ЭП+ДК+ВП))/(3·100), гдеЭП - энергия прорастания семян, ДК – длина корня и ВП – высота проростка.

Образец	Концентрация раствора, %	ДК, %	ВП, %	ЭП, %	ИФ
ГК	0.005	129.0	156.3	110.1	1.31
	0.0005	120.3	140.7	107.5	1.22
ФК	0.00038	112.4	158.3	97.1	1.22
	0.00025	127.5	150.9	98.8	1.25
ГуК	0.005	122.8	130.1	157.4	1.37
	0.0005	111.3	116.9	126.9	1.19
ГмК	0.005	136.2	153.5	112.4	1.34
	0.0005	107.9	110.7	93.4	1.04

Установлено, что величина индекса фитоактивности [2] гуминовых кислот связана со структурно-групповыми параметрами органической массы, вычисленных по данным ^{13}C ЯМР-спектроскопии (CPMAS): «степень ароматичности» f_a и «ароматичность/алифатичность» $f_{a/al}$[3,4]. Фракция фульвокислот обладает наиболее выраженной биологической активностью по отношению к семенам пшеницы. Фульвокислоты демонстрируют высокие значения индекса фитоактивности при значительно меньших концентрациях растворов. Наиболее эффективная концентрация раствора для фульвокислот– 0.00025%; для гуминовых, гиматомелановых и гумусовых – 0.005%.

Список использованных источников

1. Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Горовцов А.В. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов (обзор) // Известия ОГАУ. – 2016. – №4 (60). – С. 11-14.
2. Воронина Л.П., Якименко О.С., Терехова В.А. Оценка биологической активности промышленных гуминовых препаратов // Агрохимия. – 2012. – № 6. – С. 50.
3. Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки. – М.: Химия, 2000. – 408 с.
4. Zherebtsov S.I., Malyshenko N.V., Votolin K.S., Ismagilov Z.R., Androkhanov V.A., Sokolov D.A., Dugarjav J. Structural-group composition and biological activity of humic acids obtained from brown coals of Russia and Mongolia // Solid Fuel Chemistry. – 2019. – Т. 53. – № 3. – С. 145-151.

ОТХОДЫ, КОТОРЫЕ УПРАВЛЯЮТ УРОЖАЕМ: ПРЕЦИЗИОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РОСТА ПШЕНИЦЫ ГУМИНОПОДОБНЫМИ БИОСТИМУЛЯТОРАМИ ИЗ ЛИГНИНА

Комаров А.А, Суханов П.А., Блохина С.Ю., Новиков А.И.
Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
novikov@agrophys.ru

Работа целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) сопровождается образованием большого количества отходов, значительная часть которых вывозится непосредственно на свалки. Однако отходы ЦБК, помимо их традиционного использования (сжигание, захоронение, топливные брикеты и др.), могут быть преобразованы в биоматериалы, обладающие высокой ценностью для широкого применения. Парадокс современной агрохимии: лигнин, самый устойчивый и «бесполезный» компонент растительных остатков, при контролируемой окислительно-гидролитической трансформации может быть преобразован в регулятор, управляющий урожаем. Мы исходили из гипотезы, что лигниновая матрица содержит фрагменты, структурно близкие природным фитогормонам. Задача состоит не в том, чтобы «удобрить» почву, а в том, чтобы

«разбудить» эти скрытые сигнальные структуры. Цель работы – апробация методологии прецизионного управления ростом и развитием пшеницы с помощью гуминоподобных препаратов, полученных окислительно-гидролитической трансформацией лигнинсодержащих отходов, в сочетании с оперативным дистанционным мониторингом на спутниковой базе.

Источник сырья – лигнинсодержащий отход «КНАУФ Петроборд». Трансформацию проводили в оригинальном реакторе (5-10 л) в контролируемых условиях: T=100–180°C, P=5–25 атм., NaOH 2–10 %, аэрация 5 л/мин, с пошаговым отбором проб (1, 2, 4, 6, 8, 10 ч). На основании максимального выхода целевого продукта по времени реакции и биотестирования был выявлен оптимальный термохимический режим процесса, составляющий 130°C за 6 ч непрерывной реакции. Полученный в этом режиме препарат был промаркирован как КЛГК. Физиологическую активность оценивали биотестом на семенах пшеницы (*Triticum aestivum* L., сорт «Злата») по ГОСТ 12038 и модифицированному тесту Гродзинского в диапазоне концентраций 0,25–0,00025 %. Полевой опыт (сорт «Дарья», 17,2 га, 4-кратная повторность, фон NPK + Витанолл) проводили на Прибытковском опытном поле (Ленинградская обл.). Мониторинг состояния посевов – Sentinel-2 (NDVI), обработка – LandViewer.

Лабораторный биотест выявил «зону пробуждения»: максимальный эффект был достигнут при концентрациях 0,0025–0,00025 %, где всхожесть семян ускорялась на 28,3–31,2 % уже через 22–24 ч ($F(4,25) = 18,7$; $p < 0,001$). Это подтверждает гипотезу о гормоноподобном, а не питательном механизме действия: сверхмалые дозы работают как сигнал, а не как субстрат. В полевых экспериментах за 2024-2026 гг. КЛГК на фоне NPK обеспечивал урожайность от 25 до 3,02 т/га зерна пшеницы, при этом прибавка к фону составляла от 20 до 150% ($p < 0,01$), превзойдя эталонный биостимулятор «Стимулайф» (2,55 т/га). Структура урожая показала рост числа стеблей (до 441 шт./м²), высоты (до 110,2 см) и массы колоса (до 108 г/м²). Особый интерес представлял выявленный эффект аттракции, обеспечивающий отток биофильных элементов из листьев и стеблей в колос и зерно, особенно ярко это проявилось на вариантах с обработкой растений изучаемыми препаратами в критические фазы онтогенеза. NDVI-мониторинг зафиксировал пик вегетации (конец июня – конец июля) с максимумом на варианте КЛГК ($0,87 \pm 0,04$), что коррелирует с урожайностью и доказывает: дистанционная оценка детектирует физиологический эффект препарата.

Таким образом, лигнинсодержащие отходы ЦБК – не балласт, а депо фитогормональных предшественников, которые путем контролируемой окислительно-гидролитической трансформации превращаются в прецизионные регуляторы роста и развития растений. Комбинация КЛГК с дистанционным NDVI-мониторингом образует замкнутый контур управления «препарат – отклик растения – спутниковая верификация – корректировка». Технология реализует принцип циркулярной экономики: отходы ЦБК и аналогичных производств могут стать сырьём для отечественных биостимуляторов нового поколения.

КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ И МИКРОСКОПИЧЕСКИХ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ

Федосеева Е.В.[1], Пацаева С.В.[1], Якименко О.С.[1], Сергеева Ю.Д.[1], Терешина В.М.[2],
Данилова О.А.[2], Януцевич Е.А.[2], Терехова В.А.[1]
[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
[2]Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН (ФИЦ Биотехнологии РАН), Москва
elenfedoseeva@gmail.com

Мицелиальные грибы активно участвуют в обороте органических веществ, включая гуминовые (ГВ) (Gramss 1999; Zavarzina et al. 2011); при этом ГВ и мицелиальные грибы способны оказывать взаимное влияние. Основное прямое положительное действие ГВ заключается в увеличении биомассы и стимулировании биосинтетической активности, а также в регулировании клеточного метаболизма грибов (Kirschner et al., 1999; Kulikova et al., 2005; Tikhonov et al., 2010). В ряде исследований сообщается об ингибировании роста различных видов грибов и бактерий под действием ГВ (Pascual et al., 2002; Loffredo et al., 2007, 2008; Fedoseeva et al., 2009). Целью исследовательской работы было изучение различных аспектов взаимодействия ГВ и мицелиальных грибов, – важного аспекта функционирования почвенных и водных экосистем – с применением набора хорошо разработанных и новых методов.

Трансформацию ГВ мицелиальными грибами изучали с использованием набора спектральных и хроматографических показателей, характеризующих свойства ГВ в водной среде и их изменения в процессе роста грибов: уменьшение доли высокомолекулярных фракций и увеличение доли гидрофильных фракций; соотношение коэффициентов поглощения (A_{250}/A_{365}); максимум испускания флуоресценции и его сдвиг в сторону более коротких длин волн при изменении длины волны возбуждения, так называемый “синий сдвиг” (Shubina et al., 2010; Khundzhua et al., 2013); квантовый выход флуоресценции ГВ (КВ) на длине волны 355 нм (Shubina et al., 2010; Khundzhua et al., 2013); производные спектров поглощения второго порядка, рассчитанные посредством дифференцирования значений поглощения по длине волны (Yakimenko et al., 2016; Fedoseeva et al., 2018).

Изучали собственную флуоресценцию клеток грибов разной пигментации (Fedoseeva et al., 2021; Fedoseeva et al., 2022). Основная часть автофлуоресценции грибов обусловлена аминокислотами, меланиноподобными соединениями, NAD(P)H и флавинами. Специфические особенности флуоресценции образцов грибов могут при определённых условиях дифференцировать содержание меланина от присутствия в среде ГВ. Сочетание спектров флуоресценции, полученных при одной паре длин волн возбуждения/эмиссии и полных карт спектров возбуждения/испускания в связке с методом анализа главных компонент может обеспечить возможность выявления риска грибного загрязнения.

Влияние гуминовых препаратов (ГП) из различного сырья (угля, торфа, лигносульфоната) на чистые культуры почвенных микроскопических грибов (*Alternaria alternata, Cladosporium cladosporioides* и *Trichoderma harzianum*) оценивали по физиологическим и морфологическим откликам грибных культур, а именно приросту биомассы, радиальной скорости роста колоний, активности спороношения, интенсивности выработки первичных метаболитов (NAD(P)H) и вторичных метаболитов (меланина и рибофлавинов).

Показатели прироста биомассы находились в прямой зависимости со способностью грибных культур к деструкции ГП: наибольший прирост биомассы наблюдался в случае культивирования на средах с легко доступным источником углерода. Это подтверждает, что взаимодействие ГВ с грибами рассматривается как кометаболический процесс (Zavarzina et al. 2011). Присутствие ГП могло менять интенсивность выработки метаболитов: замедлять синтез меланина (для меланин-продуцирующих *A. alternata* и *C. cladosporioides)* и рибофлавинов (для *T. harzianum*).

Количественный и качественный состав цитозольных углеводов и полиолов (УиП), а также мембранных и запасных липидов у *A. alternata* менялся в ходе роста культуры и под воздействием ГВ (Fedoseeva et al., 2020). Модифицирующее действие ГВ может быть оказано на вирулентность и устойчивость этого фитопатогена к стрессу за счёт изменения уровней трегалозы и маннита в составе УиП, а также уровней фосфатидной кислоты, фосфатидилхолина и стеринов в составе мембранных липидов.

Таким образом, взаимодействие ГВ и микроскопических мицелиальных грибов можно изучать с помощью комплекса культуральных, биохимических, спектральных и хроматографических методов. Мицелиальные грибы способны к деструкции и преобразованию ГВ различного происхождения, в то время как грибы под действием ГВ модифицируют ростовые и биохимические показатели.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BIOAVAILABILITY OF LIPOSOMAL AND NON-LIPOSOMAL FORMS OF HUMIC SUBSTANCES

Pershina A.V.[1,2], Mikhalev D.A. [1], Trofimova E.S. [1,3], Krivoshchekov S.V. [1],
Ligacheva A.A.[3], Danilets M.G. [3], Zykova M.V. [1]
[1]Siberian State Medical University, Tomsk
[2]NovoLand LLC, Novosibirsk
[3]Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine, Tomsk
rikki_annet@mail.ru

Introduction. Liposomes are microscopic phospholipid vesicles composed of one or more bilayer membranes. Their biodegradability, biocompatibility with host tissues, chemical inertness, and structural similarity to cell membranes make them versatile transport vehicles. They protect encapsulated substances from premature degradation and facilitate their passage across biological barriers [1]. Humic substances (HS) are supramolecular systems formed through the oxidative degradation of plant metabolites

under microbiological and abiotic influences. They are polydisperse copolymers resistant to biodegradation, containing carboxyl, phenolic, quinoid, amide, ester, and ether functional groups [2]. Their multifunctionality and high reactivity determine the affinity of HS for various cells and tissues, as well as their broad spectrum of biological activity [3].

Aim. This study aimed to comparatively analyze the bioavailability of liposomal and non-liposomal forms of HS using *ex vivo* laboratory models of intestinal absorption.

Materials and Methods. The study evaluated non-liposomal and liposomal forms of HS produced by NovoLand LLC (Novosibirsk, Russia). The non-liposomal form was a 1.28% HS solution (11 mg of humic acids and 1.8 mg of fulvic acids per 1 mL). The liposomal form was a 1.22% HS solution (10.5 mg of humic acids and 1.7 mg of fulvic acids per 1 mL). The humic-to-fulvic acid ratio in both forms was 6:1. Quantitative HS content was determined spectrophotometrically at 465 nm using a PE-5400UV spectrophotometer (Ekroskhim, Russia). Liposome size and zeta potential were measured using a Litesizer 500 analyzer (Anton Paar GmbH, Austria). Bioavailability was investigated *ex vivo* using everted and non-everted intestinal sac models on 5-cm segments of the small intestine from Sprague–Dawley rats. Incubation was performed in Krebs–Ringer bicarbonate buffer at 37°C. To determine total HS content, liposomes were disrupted using a 3.0% Triton X-100 solution (1:10 ratio) for 30 minutes. Data were analyzed using descriptive statistics.

Results. The mean liposome size was 358.4 ± 12.8 nm (345.8 nm before mixing and 371.5 nm after mixing). Zeta potential values were negative (–0.0645 mV before mixing and –0.0530 mV after mixing), characterizing the liposomal HS form as a stable, equilibrium disperse system of moderately sized, negatively charged liposomes. In the everted intestinal sac model, the permeation yield of the non-liposomal form was 67.25% at 1.5 h, 86.25% at 3 h, and 94.55% at 5 h. For the liposomal form (post-disruption), the HS yield reached 56.10% at 40 min, 88.92% at 60 min, and 99.70% at 1.5 h, plateauing thereafter. The maximum yield of the liposomal form was achieved 3.5–4 times faster. In the non-everted model, the non-liposomal form yielded 9.3%, 16.7%, and 23.0% at 60 min, 2 h, and 4 h, respectively, whereas the liposomal form yielded 12.3%, 25.7%, and 31.6% at the same time points. From 40 minutes onwards, the permeation rate of the liposomal form exceeded that of the non-liposomal form by a factor of 1.7 to 2.

Conclusion. Both HS forms demonstrated a high capacity to penetrate the small intestinal wall. However, the liposomal form permeated more uniformly and exhibited significantly higher bioavailability: 3.5–4 times higher in the everted sac model and 1.7–2 times higher in the non-everted sac model.

References

1. Dymek M., Sikora E. Liposomes as biocompatible and smart delivery systems – the current state // Adv. Colloid Interface Sci. – 2022. – Vol. 309. – ID. 102757.
2. Perminova I.V. From green chemistry and nature-like technologies towards ecoadaptive chemistry and technology // Pure Appl. Chem. – 2019. – Vol. 91(5). – P. 851–864.
3. Zykova M.V., Trofimova E.S., Azarkina L.A., et al. Pharmacological effects of humic substances and their signaling mechanisms // Molecules. – 2026. –Vol. 31(1). – ID. 114.

ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛИСТЬЯХ РАСТОРОПШИ

Тихонова И.Л., Тихомирова Е.И., Шарова Е.А., Белоконова Н.А., Шкиндер Н.Л.
Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург
koritca14@gmail.com

Введение. Расторопша пятнистая (Silybum marianum (L.) Gaertn.), содержит группу флавонолигнанов, проявляющих антиоксидантную активность. Основным компонентом этой группы является силимарин и его структурный компонент – силибин (до 66-68%). Антиоксидантная активность силимарина связана с наличием фенольной структуры в молекуле его действующего вещества (полифенол), что позволяет ему нейтрализовать активные формы кислорода и другие свободные радикалы. В аптечной сети представлены лекарственные препараты в виде сухого экстракта флаволигнанов из измельченных плодов расторопши (Карсил, Силимар), а также фитопрепараты (БАДы) на основе шрота плодов расторопши, применяемые в виде водных настоев и травяных чаев. При этом активность таких препаратов сопоставима с таковым эффектом некоторых индивидуальных флавоноидов (рутин, кверцетин, дигидрокверцетин, силибин). Сырьевая база РФ обеспечена культивируемыми растениями расторопши в центральных и южных регионах Европейской части России, но на свойства сырья влияет географическое расположение. Известно, что гуматы повышают энергию прорастания, лабораторную и полевую всхожесть семян, стимулируют рост и развитие проростков, лучше развивают корневую систему.

Цель исследования – исследовать влияние гуминовых веществ на содержание полифенолов в листьях расторопши пятнистой, выращенной в разных условиях подготовки семян и полива растения.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования были взяты водные вытяжки из высушенных листьев расторопши пятнистой (модельные системы – МС), выращенной в следующих условиях: МС1 - семена расторопши замачивались на 12 часов в 0,001% (об.) растворе гуминового удобрения; МС2 - семена расторопши не замачивались, растение поливали 0,001% (об.) раствором удобрения; МС3 - семена расторопши не замачивались, растение поливали водой для полива без применения удобрения в отсутствие дождя. Растворы удобрения готовили из 1% раствора агрохимиката «Росток» (Россия), содержащего соли гуминовых кислот торфа и аминокислоты. Полив растворами агрохимиката осуществлялся по схеме: 10 раз в течение всего периода выращивания (июнь-октябрь) через 10-14 дней. Собранные после 2-х и 4-х месяцев роста листья расторопши были высушены воздушно-теневым способом. Далее были приготовлены водные вытяжки из сухих листьев растения. Содержание полифенолов исследовали по методике определения общего содержания полифенолов (ГОСТ Р ИСО 14502-1–2010) спектрофотометрическим методом с реактивом Folin-Ciocalteu, предварительно построив градуировочный график зависимости оптической плотности от концентрации аскорбиновой кислоты (АК) (стандарт) при длине волны 765 нм.

Обсуждение результатов. Спектрофотометрическим методом было подтверждено содержание полифенолов (в мг на 1 г сухого листа) в листьях расторопши: минимально (0,151 и 0,154 мг/г) – в образцах МС2 и МС3, соответственно; максимально (0,246 мг/г) - в образце МС1. При этом, содержание полифенолов в исследуемых образцах на протяжении всего роста растения практически не изменялось. Учитывая массовое соотношение плодов расторопши и биомассы (200:1) по литературным данным, и на основании полученных данных о содержании полифенолов в водных вытяжках из сухих листьев исследуемых образцов, можно сопоставить таково содержание (минимально - 30,2 мг/г; максимально - 49,2 мг/г) с суммарным содержанием антиоксидантов в препарате Карсил (19,44 мг/г), содержащем стандартизированное количество силимарина (35 мг/1 драже), и в фитопрепарате в виде настоя плодов расторопши (31,12 мг/г). В лекарственном препарате Силимар, при производстве которого экстракт расторопши получают по сложной многостадийной технологии, включающей в себя обезжиривание сырья, спиртовую экстракцию, очистку и концентрирование флаволигнанов и флавоноидов, суммарное содержание антиоксидантов составляет 138 мг/г.

Выводы. 1) Содержание полифенолов в листьях расторопши пятнистой практически не зависит от времени сбора в любой фазе вегетации растения, а зависит от условий выращивания растения: замачивания семян гуминовым удобрением, состава раствора для полива растений. 2) Замачивание семян в гуминовых растворах повышает содержание полифенолов в листьях расторопши пятнистой. 3) Возможно использование растительной биомассы (листьев) расторопши наряду с использованием плодов растения, в качестве дополнительного источника веществ, проявляющих антиоксидантные свойства.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ХРОНИЧЕСКОГО СТРЕССА И ГУМАТА НАТРИЯ ИЗ ТОРФА НА МИЕЛОМУ SP 2/0 AG14 У МЫШЕЙ BALB/C

Китапова Р.Р.
ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России, г.Уфа
ismatovarr@gmail.com

Введение. Одним из мощных факторов, вызывающих ослабление противоопухолевой резистентности организма, являются нагрузки при хроническом стрессе стимулируется продукция ингибиторных цитокинов, подавляющих иммунную систему, что способствует развитию злокачественных новообразований. Гумат натрия полученный из торфа Томской области обладает антиоксидантными свойствами.

Цель нашего исследования оценить развитие миеломы Sp2/0 Ag14 у линейных мышей BALB/c при хроническом стрессе на фоне водного раствора введения гумата натрия из торфа.

Метод исследования. Хронический стресс был смоделирован в течение двух недель с использованием методики ежедневного 20-минутного «вынужденного плавания». Оценка степени депрессии проводилась по времени, проведенному в состоянии «зависания», что отражало неподвижное состояние животного в течение 5 минут. В ходе эксперимента одновременно применялся вводный раствор гумата натрия из торфа. Оценка противоопухолевой активности проводилась по следующим критериям: снижение развития асцита, медиана продолжительности жизни и увеличение продолжительности жизни мышей в экспериментальных группах: «контроль-миелома» - животные с привитой миеломой без воздействия стресса, «контроль миелома + стресс» - животные с привитой миеломой, испытывающие стресс, «миелома + стресс + гумат натрия» - животные с привитой миеломой, подверженные стрессу и получающие раствор гумата натрия параллельно. За сутки до начала эксперимента мышам была выполнена внутрибрюшинная инъекция суспензии клеток миеломы штамма Sp 2/0 Ag14 в дозе 10^6 клеток на мышь. На 21-й день исследования оценивали торможение развития асцита как прямым способом, измеряя количество асцитической жидкости в миллилитрах, так и косвенно, определяя снижение прироста массы тела. Все расчеты выполнялись относительно контрольной группы «миелома + стресс», так как именно в этой группе животных были зафиксированы наибольшие показатели прироста массы тела и объема асцитической жидкости, а также наименьшие значения медианы и увеличения продолжительности жизни мышей.

Результаты. Под действием раствора гумата натрия величина «степени депрессии» значительно снижалась ($p = 0,001$) в 5 раз. У мышей, получавших препарат сравнения флуоксетин (антидепрессант, ингибитор обратного захвата серотонина), уменьшение «степени депрессии» происходило в меньшей степени – в 3 раза ($p = 0,002$). У животных с привитой миеломой под действием хронического стресса объем асцитической жидкости по сравнению с контрольной группой («контроль-миелома» без стресса) в среднем увеличивался на 21,6%, прирост массы тела - на 17,2%, медиана продолжительности жизни снизилась на 13%, а увеличение продолжительности жизни уменьшилось - на 17%. В группах, в которых одновременно с моделированием стресса вводили гумат натрия, происходило уменьшение объема асцитической жидкости: на 55,2%, снижение прироста массы тела - на 51,4%. Медиана продолжительности жизни при этом увеличивалась примерно на 76%, а увеличение продолжительности жизни - на 100%. При этом выжившие животные оставались здоровыми и активными на протяжении 6 месяцев наблюдения и далее в течение года.

Выводы. Хронический стресс стимулирует развитие привитой миеломы Sp 2/0 Ag14 у мышей BALB/c. Гумат натрия, вызывает торможение, что может быть использовано для профилактики и повышения эффективности лечения онкологических заболеваний.

STANDARDIZATION OF A SILVER NANOPARTICLE SUBSTANCE LOCALIZED IN A HUMIC MATRIX

Mikhalev D.A.[1], Zykova M.V.[1], Buyko E.E.[1], Zhirkova A.M.[2], Minko A.M.[1], Shunkova D.M.[1], Karpova M.R.[1], Ivanov V.V.[1], Belousov M.V.[1], Perminova I.V.[2]
[1]Siberian State Medical University, Tomsk
[2]Lomonosov Moscow State University, Moscow
diman021999@gmail.com

Introduction. Silver nanoparticles (AgNPs) exhibit pronounced antibacterial activity against antibiotic-resistant microflora and biofilm forms of infection. At the same time, the potential toxicity of nanosilver requires a justified choice of a stabilizing matrix. Humic substances are characterized by multifunctionality, redox and chelating properties and can be used as biocompatible matrices for the localization and stabilization of AgNPs. The aim of the study was to develop standardization parameters for a silver nanoparticle substance localized in a humic matrix.

Objects and methods. The object of the study was the HS-AgNP substance, consisting of silver nanoparticles 10.1±4.4 nm in size localized and stabilized by brown-coal humic acids. Physicochemical analysis included description and solubility tests, loss on drying according to GPM.1.2.1.0010.15, total ash according to GPM.1.2.2.2.0013.15, and sulfated ash according to GPM.1.2.2.2.0014.15. Identity was confirmed by a qualitative reaction for silver, UV, fluorescence, and IR spectroscopy. Heavy metals, arsenic, and radionuclides were controlled according to the relevant general pharmacopoeial monographs of the State Pharmacopoeia of the Russian Federation, 15th edition. Elemental composition and silver content were studied by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). For routine quantitative determination of silver, a thiocyanatometric titration method after preliminary ashing was developed and evaluated for repeatability, intermediate precision, and linearity.

Discussion of results. The substance was an amorphous powder ranging from dark brown to black, readily soluble in water and practically insoluble in ethanol and hexane. Loss on drying was not more than 3.21%, total ash not more than 12.58%, and sulfated ash not more than 28.13%. In the UV spectrum, an absorption maximum in the 400–430 nm region confirmed the presence of AgNPs. Fluorescence spectra at excitation wavelengths of 270, 310, and 355 nm and the IR spectrum confirmed preservation of the structural features of the humic matrix and the involvement of its functional groups in silver reduction and stabilization. The mean silver content was 25.41%. For the thiocyanatometric method, the correlation coefficient was 0.99978, while the relative standard deviation for repeatability and intermediate precision did not exceed 0.4%. The draft specification included maximum levels of Pb – 6.0 mg/kg, Cd – 1.0 mg/kg, Hg – 0.1 mg/kg, As – 0.5 mg/kg, ^{137}Cs – 400 Bq/kg, and ^{90}Sr – 200 Bq/kg.

Conclusions. Based on the physicochemical study, a set of quality-control parameters was established for the silver nanoparticle substance localized in a humic matrix in accordance with the State Pharmacopoeia of the Russian Federation, 15th edition. The developed thiocyanatometric method for silver determination can be used for routine quality control. The results formed the basis for the draft regulatory documentation.

ИНГИБИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ УЗКИХ ФРАКЦИЙ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА СОРБЕНТЕ BOND ELUT C18, В ОТНОШЕНИИ СЕРИНОВЫХ И МЕТАЛЛО-В-ЛАКТАМАЗ

Котова М.В., Жиркова А.М., Петров К.В., Григоренко В.Г., Рубцова М.Ю., Константинов А.И., Ларионов К.С., Волков Д.С., Перминова И.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
kotovamarina20@yandex.ru

На сегодняшний день антибиотикорезистентность представляет особую эпидемиологическую угрозу. Распространение бактерий, продуцирующих сериновые (СБЛ) и металло-β-лактамазы (МБЛ), требует создания ингибиторов широкого спектра (кросс-ингибиторов). В качестве таких соединений весьма перспективными представляются полифункциональные гуминовые вещества (ГВ).

Цель работы – получение узких фракций гуминовых кислот (ГК) гумата Байкал, различающихся по физико-химическим свойствам, и исследование их ингибирующей активности в отношении сериновых β-лактамаз (TEM-1, TEM-17, TEM-18) и металло-β-лактамазы NDM-1. Фермент TEM-1 является родоначальником семейства TEM; TEM-17 и TEM-18 - β-лактамазы расширенного спектра действия (БЛРС); NDM-1 – родоначальник металло-β-лактамаз семейства NDM.

Объектом исследования служили фракции ГК гумата Байкал (СНА-В), полученные методами направленного фракционирования. Целевые фракции (СНВ-С-9, -8, -7) получали методом твердофазной экстракции на сорбенте Bond Elut C18 с использованием ступенчатого элюирования при pH 9, 8, 7. Ферментативную кинетику гидролиза изучали спектрофотометрическим методом в видимом диапазоне длин волн с использованием хромогенного цефалоспоринового субстрата CENTA. Оценку ингибирующей активности фракций ГК проводили по начальным участкам кинетических кривых. Из зависимости степени ингибирования от концентрации рассчитывали значения полумаксимального ингибирования IC_{50}.

Сравнительный анализ фракций гуминовых кислот угля СНВ-С-7, СНВ-С-8 и СНВ-С-9 методами ЯМР-спектроскопии ^{13}C и масс-спектрометрии ионного циклотронного резонанса с преобразованием Фурье (МС ИЦР ПФ) выявил существенные различия в их молекулярном и структурно-групповом составе. Состав фракций, выделенных при высоких pH, характеризуется конденсированными танинами и полифенольными (фенил-изопропильными) фрагментами. Молекулярное пространство фракции, выделенной при нейтральном pH, смещено в алифатическую и гидрофильную область диаграммы Ван-Кревелена, что указывает на концентрирование в нейтральной среде углеводных, пептидных и липидных фрагментов.

Тестирование биологической активности исходных ГК и их фракций показало, что выделенные фракции обладают выраженной ингибирующей способностью в отношении сериновых β-лактамаз TEM-1, TEM-17, TEM-18 и металло-β-лактамазы NDM-1. При этом наблюдается четкая зависимость уровня ингибирования от природы фракции: образцы СНВ-С-7, СНВ-С-8 и СНВ-С-9

демонстрируют увеличение степени ингибирования ферментов с увеличением pH выделения. Наибольшую активность проявила фракция СНВ-С-9, по сравнению с исходными ГК максимальная ингибирующая активность увеличилась почти в два раза составила более 90% для СБЛ и 75% для МБЛ.

Выводы заключаются в том, что фракция СНВ-С-9, выделенная при наиболее щелочном pH, показала наиболее высокую ингибирующую активность и является перспективным ингибитором в отношении β-лактамаз различных классов.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-20202).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА СОДЕРЖАНИЕ МАГНИЯ В ОБРАЗЦАХ МИКРОЗЕЛЕНИ

Касаткина И.Г., Наронова Н.А., Белоконова Н.А., Шкиндер Н.Л.
ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Екатеринбург
irina_kasatkina_79@mail.ru

Введение. Современное интенсивное растениеводство и производство микрозелени требует внедрения высокоэффективных, экологически безопасных органоминеральных комплексов. Гуминовые вещества представляют собой уникальные природные высокомолекулярные соединения, формирующиеся в процессе биохимической гумификации растительных и животных остатков в анаэробных или частично аэробных условиях. Обладая выраженной аккумулятивной и протекторной функциями, гуминовые вещества способны прочно связывать и удерживать в доступной для корневых систем форме важнейшие макро- и микроэлементы: азот, фосфор, серу, калий, кальций, железо, а также магний. Магний является центральным атомом молекулы хлорофилла, катализатором ферментативных систем фотосинтеза и важнейшим регулятором распределения ассимилятов в растительных тканях. Дефицит магния приводит к угнетению корневой системы и резкому снижению урожайности.

Цель исследования – экспериментальная оценка накопления ионов магния в образцах микрозелени под влиянием гуминовых веществ.

Объекты исследования. Исследование проводили на образцах микрозелени салата «Руккола», выращенных на стандартизированных джутовых подложках. Всего в эксперименте было использовано 6 подложек (по 3 подложки в контрольной и экспериментальной группах). Экспериментальная группа подвергалась обработке комплексным удобрением на основе гуминовых веществ «Росток». За весь период выращивания, который составил 14 дней, обработку проводили 3 раза (на 1-й, 4-й, 7-й дни после появления всходов) методом полива под корень. Расход рабочего раствора с концентрацией гуминовых веществ 10% и концентрацией ионов магния 0,2% составлял 50 мл на одну подложку за один полив.

Методы исследования. Общую, кальциевую и магниевую жесткость водных растительных экстрактов образцов микрозелени определяли методом комплексонометрического титрования в присутствии металлоиндикаторов (хромоген черный при pH=10 в аммиачном буферном растворе и мурексид при pH=12 в среде гидроксида натрия). Экстракцию ионов из растительного сырья (масса образца 10,0 г) осуществляли путем кипячения с обратным холодильником в течение 2 часов в 100 мл 10% раствора соляной кислоты.

Обсуждение результатов. Результаты комплексонометрического титрования растительных экстрактов образцов микрозелени показали воспроизводимость во всех сериях опытов. В контрольной группе (выращивание без применения комплексного удобрения на основе гуминовых веществ) диапазон изменений общей жесткости составил от 41,21 до 51,61 мг/л (среднее значение 46,41 мг/л), кальциевой жесткости – от 35,07 до 42,67 мг/л (среднее 38,87 мг/л), магниевой жесткости – от 6,34 до 8,74 мг/л (среднее 7,54 мг/л). Выявленное низкое содержание ионов магния в контрольных образцах подчеркивает проблему катионного антагонизма в почвенных растворах, где избыток ионов калия или кальция блокирует естественное усвоение ионов магния корневой системой. В экспериментальной группе при использовании комплексного удобрения на основе гуминовых веществ зафиксировали значительный рост концентрации ионов магния во всех образцах: диапазон изменений ионов магния в образцах от 32,2 до 36,8 мг/л (среднее 34,50 мг/л). Относительная погрешность определений во всех параллельных опытах не превышала 5%, что подтверждает достоверность выявленного характера биоаккумуляции.

Выводы. Применение комплексного удобрения на основе гуминовых веществ «Росток» позволило увеличить среднюю концентрацию ионов магния в образцах микрозелени «Руккола» в 4,58 раза по сравнению с контрольной группой. Это подтвердило высокую биодоступность данного органоминерального комплекса как естественного комплексообразующего агента и природной транспортной матрицы, успешно нивелирующей катионный антагонизм, предотвращающей фиксацию ионов магния и обеспечивающей направленное движение в растительные ткани. Полученные результаты открывают перспективы для управляемого выращивания растительной продукции с заданным содержанием макро- и микроэлементов.

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТОРФА

Жмакова Н.А., Макарова Н.Л.
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск
zhmakova@mail.ru

В настоящее время перспективным является применение, а растениеводстве препаратов антиоксидантного действия, как средств защиты растений от стрессовых факторов (засуха, заморозки, болезни, пестициды и др.). Сырьем для

их получения может служить торф – источник природных биологически активных соединений различных химических классов. Целью работы являлось выделение отдельных фракций торфа и исследование их антиоксидантной активности.

Из сфагнового торфа со степенью разложения 20-25 % были выделены фракции гуминовых кислот (ГК), фульвокислот (ФК), пектинов и свободных фенольных соединений. ГК извлекали трехкратной обработкой торфа 0,1 н раствором едкого натра при гидромодуле 1:150, температуре 80–90°С в течение 1 ч. Фильтраты подкисляли соляной кислотой до pH 1–2. Осадок вымораживали в течение 2-х суток при температуре минус 2°С, отделяли от фильтрата, промывали дистиллированной водой и высушивали на воздухе. ФК выделяли по методу Форсита из кислого фильтрата после осаждения ГК. Органические компоненты фильтрата адсорбировали на угле марки ОУ-А, а затем последовательно промывали 0,1 н HCl для удаления аминокислот, пуриновых оснований и углеводов, смесью ацетона и воды (10:1) для очистки от углеводов и фенольных компонентов и водой – для удаления полисахаридов. ФК элюировали 0,5 н раствором NaOH с ацетоном (4:1). Раствор фульватов натрия нейтрализовали HCl до pH 7, диализовали, концентрировали вымораживанием при температуре минус 2°С и высушивали [1]. Выход ГК составил 29,5%, ФК – 9,5 % от органической массы (ОМ) торфа. Пектины выделяли после предварительной делигнификации торфа окислением 10 %-ным раствором надуксусной кислоты в течение 10 мин при температуре 65°С. Полисахариды экстрагировали из полученной холоцеллюлозы 18 %-ным раствором NaOH, осаждали 5-кратным объемом этилового спирта. Осадок промывали спиртом, а затем ацетоном [2]. Выход холоцеллюлозы составил 69,8 %, пектинов – 16,2 % от ОМ торфа. Для выделения фракции свободных фенольных соединений торф трижды экстрагировали 70 %-ным этанолом при комнатной температуре, экстракты объединяли, спирт упаривали, а остаток растворяли в 1 %-ном растворе NaOH [3]. Выход фракции составил 2,1 % от ОМ торфа. Уровень антиоксидантной активности во фракциях определяли по содержанию веществ восстанавливающего характера, сравнивая с содержанием в известном антиоксиданте кверцетине, по методике, основанной на реокислении восстановленного рибофлавина [4]. 1 мл реакционной среды содержал: 2,2 мкМ рибофлавина; 4,3 мкМ метионина; 29 мкМ нитросинего тетразолия; 0,3 мг желатина; 11 мкМ ЭДТА и 6,7 мкМ трис-HCl (pH 8,0). Оптическую плотность (λ_{560}) регистрировали до и после 6 мин освещения белым светом (лампа ЛЭТИ-60), об антиоксидантной активности судили по интенсивности изменения окраски (Табица 1).

Таблица 1. Антиоксидантная активность отдельных фракций, выделенных из торфа

Образец	Разведение	Антиоксидантная активность	
		%	мг кверцетина /мл
Кверцетин	1:1000	22,30	1,0
ГК	1:150	73,06	7,68
ФК	1:85	79,63	6,15
Пектины	1:20	64,99	0,71
Фенольная фракция	1:10	87,36	1,55

ГК и ФК проявляли высокую антиоксидантную активность равную 7,68 и 6,15 мг кверцетина/мл, активность пектинов не превышала 0,71, а фенольной фракции составляла 1,55 мг кверцетина/мл и была примерно втрое ниже, чем у ГК и ФК. То есть, антиоксидантная активность в большей мере может быть обусловлена веществами полифенольного характера, чем низкомолекулярными фенольными соединениями. Таким образом, оценка антиоксидантных свойств отдельных компонентов торфа показала, что ГК, ФК и низкомолекулярные фенольные соединения, обладают более высокой антиоксидантной активностью, чем кверцетин и могут быть использованы в качестве антистрессовых, антиоксидантных препаратов в растениеводстве.

Список использованной литературы

1. Malcolm R.L. Geochemistry of stream of fulvic and humic substances // New York. –2005. – P. 181-209.
2. Шарков В.И., Куйбина Н.И. Химия гемицеллюлоз. – М.: Наука, 1972.
3. Запрометов М.Н. Фенольные соединения – М.: Наука, 1993. – 272 с.
4. Beauchamp C. O., Fridovich I. Superoide dismutase: Improved assays and an assays applicable to acrylamide gels // Anal. Biochem. – 2000. – Vol. 44. – P. 276–287.

THE FERTILIZING AND GROWTH-PROMOTING PROPERTIES OF AN ORGANIC FERTILIZER BASED ON HUMIC SUBSTANCES ON MAJOR AGRICULTURAL CROPS

Zhilkibayev O.T.[1,5], Aitbayev T.E.[2], Popov A.I[3]., Shoinbekova S.A.[1], Kashaganova K.T.[1]
[1]Al Farabi Kazakh National University, Almaty
[2]Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing, Almaty
[3]Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg
[5]InterAgroTech LLC, Almaty
zhilkibaevoral@mail.ru

Currently, the world has sharply increased interest in organic fertilizers. This is primarily due to the fact that environmental problems caused by the total agriculture chemicalization have attracted the attention of the world community, which has become increasingly concerned about the harm caused to human health by pesticides, agrochemicals and other products of soil, water and air pollution. Consumers began to pay more and more attention to the quality of food products and their environmental friendliness. The use of environmentally safety products of natural origin is a global trend today. This is due to the fact that more and more data is being accumulated on the positive impact of humic substances on plant growth and development, as well as on the quality of agricultural products and soil fertility. Humates, being physiologically active substances, regulate and intensify metabolic processes in plants and soil, and contribute to the active intake of nutrients in a form that is digestible for plants.

We obtained a universal plant growth and development stimulator "KazHumate" from highly oxidized brown coal by extraction with alkaline reagents with the addition of a complex of amino acids, macro - and microelements, which is intended for all types of agricultural crops for growing environmentally friendly agricultural products in any soil and climatic zones.

"KazHumate" is a new – generation humic-free preparation with a high humification degree. The preparation composition includes easily soluble physiologically active salts of humic and fulvic acids (humates and fulvates), a complex of amino acids, macro - and microelements in an accessible form for plants. Eco-friendly product, completely soluble in water, which is extremely convenient for drip irrigation system. It is intended for all types of agricultural crops in any soil and climatic zones, acts as plant hormones: the optimal drug concentration is 0.0001%. The preparation drug is used for pre-sowing seed treatment, foliar treatment during the growing season as an independent fertilizer and post-harvest soil treatment. Its use does not require changing existing agricultural technologies – it is compatible with any plant protection products and other fertilizers. It is used as a working solution both independently and in tank mixtures with plant protection products and soluble fertilizers as part of planned treatments. Increases the efficiency of mineral fertilizers and pesticides, reducing their use by 20-40%. It is characterized by economical production and use: pre-sowing seed treatment - 200 g/t, spraying of crops: cereals-150 g/ha, post-harvest soil treatment – 400 g/ha.

Laboratory and field tests conducted on potatoes and vegetable crops (tomatoes, cucumbers, cabbage, carrots, onions, beets) have shown high effectiveness of the drug "KazHumate", which significantly improves the sowing quality of vegetable seeds: increased germination and seed germination energy, intensive stimulation of root formation in plants, accelerated growth processes (formation of biomass and food organs), increased fruiting period, reduced maturation, higher yield of potatoes and vegetable crops. The results obtained in laboratory and field experiments on potatoes and main vegetable crops showed high humic growth stimulator efficiency by "KazHumate". This confirms that the use of humic compounds is the most promising agricultural technology direction. Their use is actively expanding, especially in connection with the desire to make agriculture as eco-friendly, efficient and economical as possible.

СЕКЦИЯ 5
ПРИРОДНЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА В АГРАРНЫХ, ПРИРОДООХРАННЫХ И БИОМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

ПРИМЕНЕНИЕ ГУМИНОВОГО ПРЕПАРАТА ПРИ РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

Мажайский Ю.А., Павлов А.А.
Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации
имени А.Н. Костякова, Мещерский филиал, Рязань
kupoz@mail.ru

Введение. Стратегия развития сельского хозяйства определяется ростом народонаселения и необходимостью получения качественных продуктов питания при сохранении почвенного плодородия. Отмечается необходимость перехода на природоподобные технологии, однако естественные обменные процессы в биосфере протекают медленнее, чем требуется для воспроизводства природных ресурсов, поэтому целесообразно применять принцип сбалансированного природопользования. В Нечернозёмной зоне Рязанской области значительные территории занимают малопродуктивные деградированные почвы – залежные земли, вышедшие из оборота с конца 1990-х годов в результате технологической деградации, невыполнения комплекса агротехнических и почвозащитных мероприятий. Вопросы восстановления их плодородия остаются малоизученными [1-4].

Объекты и методы. На лизиметрической площадке УНИЦ «Агротехнопарк» (Рязанская область) проведён модельный мелкоделяночный опыт. В качестве объекта исследований рассматривается комплекс агромелиоративных мероприятий по внесению гуминового препарата (далее ГП), полученного по технологии гидродинамической кавитации, и биогумуса в условиях повышенного уровня грунтовых вод (далее УГВ). Предметом исследований послужила динамика изменения содержания органического вещества, подвижного фосфора и обменного калия. Исследования проводились на серых лесных среднесуглинистых и дерново-подзолистых супесчаных почвах, плотность сложения 1,31 и 1,2 г/см³, pH 5,2 и 5,6, соответственно. Площадь лизиметра 1,2 м², повторность четырёхкратная. Варианты: 1 - контроль; 2 - ГП 150 л/га + биогумус 10 т/га при УГВ 1,5 м; 3 - ГП 150 л/га + биогумус 10 т/га при УГВ 1,0 м; 4 - ГП 150 л/га + биогумус 10 т/га при УГВ 0,5 м. Кормовые культуры: смесь вико-овса (1/1) и клевер красный + тимофеевка луговая + ежа сборная (2/1/1).

Обсуждение результатов. Установлено достоверное накопление органического вещества на серой лесной почве при оптимальный УГВ 1,0 м прибавка составила 0,66%, на дерново-подзолистой при УГВ 0,5 м прибавка составила 0,72%. При высоком УГВ накопление усиливается за счёт активизации почвенной микрофлоры, увеличения скорости биохимических реакций и оптимизации аэрации. На дерново-подзолистой почве отмечено увеличение содержание фосфора – в 2,3 раза, калия – в 2 раза; на серой лесной – в 1,5 раза.

Залегание грунтовых вод на отметках 0,5–1,0 м создаёт устойчивый влагозапас, необходимый для жизнедеятельности микроорганизмов и накопления подвижных элементов питания.

Выводы. Внесение ГП в сочетании с биогумусом достоверно улучшает показатели плодородия деградированных почв. Увеличение содержания органического вещества происходит за счёт препарата, удобрения и запашки органических остатков залежи. Необходим индивидуальный подход к применению ГП с учётом типа почвы и уровня грунтовых вод. В условиях Рязанской области проведено ограниченное количество испытаний ГП, что обусловливает важность дальнейших исследований.

Список использованной литературы

1. Кокин А.В., Кокин А.А. Природоподобные технологии и сбалансированное природопользование в условиях современной экономики // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. – 2020. – №1. – С 131-136.
2. Мажайский Ю.А., Павлов А.А. Влияние гуминового препарата на плодородие залежных земель и урожайность кормовых культур // Вестник РГА-ТУ им. П.А. Костычева. – 2020. – №4 (48). – С. 32-39.
3. Мажайский Ю.А., Павлов А.А. Способ освоения залежных земель нечерноземной зоны при выращивании кормовых культур // Вестник РГАТУ им. П.А. Костычева. – 2020. – №3 (47). – С. 138-143.
4. Чердакова, А.С. Экологическая оценка влияния различных гуминовых препаратов на состояние техногенно-измененных серых лесных почв: дис. … канд. биол. наук: 03.02.08 / А.С. Чердакова. – Рязань, 2016. – С. 71-80.

ВЛИЯНИЕ ГУМАТА КАЛЬЦИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО (*HORDEUM SATIVUM*) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ

Шуваев Е.Г., Дудникова Т.С., Сушкова С.Н., Барбашев Ан.И. Щербина К.Е.
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону
shuwaew.evgeny_321@mail.ru

Одной из глобальных экологических проблем является техногенное загрязнение почв органическими поллютантами, среди которых особое место занимают полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – соединения, содержащие два и более конденсированных бензольных кольца, образующиеся преимущественно в результате термических процессов сжигания и переработки органического сырья. Наиболее опасным представителем данной группы является бенз(а)пирен (БаП), относящийся к канцерогенам и 1 класса опасности.

В качестве ремедиантов загрязнённых почв применяют гуматы, которые не только способствуют значительному обогащению почвы органическим веществом, но и положительно влияют на физико-химические и биологические свойства почв. Гуматы способны активировать рост и развитие растений и

микроорганизмов, а также эффективно связывать и токсиканты, ограничивая их биодоступность живым организмам. В связи с этим актуальной задачей является изучение влияния гуматов на растения в условиях техногенного загрязнения.

Цель работы: изучить влияние гуматов на рост и развитие ячменя при техногенном загрязнении почв.

Для достижения поставленной цели заложен модельный эксперимент с почвой, отобранной с целинного участка природного почвенного заповедника «Персиановский» (0-20 см). Исследуемая почва - чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках со следующими характеристиками: содержание физической глины - 52%, ила – 30%, гумуса – 4,2%, $pH_{вод}$ – 7,5, $CaCO_3$ – 0,4%, ЕКО – 33 смоль(+)/кг. В гуминовом препарате на основе гумата кальция были определены концентрации гуминовых кислот –3,46 г/л, фульвокислот – 2,01 г/л.

Схема модельного опыта включала контрольный образец (незагрязненный чернозем обыкновенный карбонатный), варианты с внесением в контрольный образец БаП отдельно и совместно с гуматом кальция. Для проведения опыта очищенную и просеянную почву помещали в чашку Петри в количестве 100 г на сосуд. На поверхность почвы вносили водный раствор БаП в ацетонитриле для создания концентрации поллютанта в почве в 100 нг/г, что соответствовало 5 ПДК (ГН 2.1.7.2041-06). Инкубация почвы с БаП составила 1 неделю. После чего в соответствие со схемой опыта в почву вносили гумат кальция из расчета создания концентрации гуминовой кислоты 0,1%, от объема почвы. По прошествии недели инкубации почвы с БаП и гуматом сосуды засевали тест-культурой ячмень яровой (*Hordeum Sativum*) сорта «Ратник». Отбор проб растений осуществлен по достижению ячменя фазы «выход в трубку», измеряли длину корней и проростков. На 7 день проведения опыта была рассчитана всхожесть семян, а на 3 день рассчитывали энергию прорастания. Всхожесть и энергия прорастания были измерены по формуле: М, $V=\frac{X}{Хобщ}*100$, где, Х – количество проросших семян, $X_{общ}$ – количество посаженных семян.

В результате модельного опыта было установлено, что внесение БаП в почву приводит к уменьшению длины корней, по сравнению с растениями контрольного образца, с 8,9 см до 4,6 см для корней и с 17,7 см до 13,9 см для проростков. Всхожесть ячменя при загрязнении почвы уменьшилась с 97% до 73%, а энергия прорастания с 93% до 60%. При внесении 0,1% гумата кальция в почву, загрязненную 5 ПДК БаП, длина корней увеличилась в два раза: с 4,6 см до 8,9 см, что соответствует значениям, характерным корням контрольного образца. Длина проростков увеличилась с 13,9 см до 17,1 см. Всхожесть ячменя составила 80%, а энергия прорастания 73%.

В ходе модельного опыта было установлено, что содержание в черноземе обыкновенном карбонатном БаП в количестве 5 ПДК способствует угнетению морфометрических характеристик и посевных качеств ячменя ярового. Наиболее чувствительным показателем при загрязнении почвы является длина корней: наблюдается снижение почти в два раза по сравнению с ячменем, произрастающим на незагрязненной почве. Применение гумата кальция на загрязненной 5ПДК БаП почве способствует увеличению длины корней и

проростков на 5,3 см и 3,2 см соответственно с 4,6 до 8,9 см и с 13,9 до 17,1 см, что соответствует уровню контрольного варианта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение №075-15-2025-667) на оборудовании ЦКП «Биоинженерия почв».

ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ МАКРОЛИГАНДОВ НА РАЗМЕР МАГНИТНОЙ ФАЗЫ ПЛАВУЧИХ СОРБЕНТОВ

Жиркова А.М.[1], Крючкова Д.С.[1], Гаджибагомедов Р.А.[1], Раджабзода П.А.[1], Панкратов Д.А.[1], Волков Д.С.[1], Перов Н.С.[2], Перминова И.В.[1]
[1]Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва;
[2]Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
zhirkova.anastasiya.msu@gmail.com

Красный шлам, образующийся при автоклавном выщелачивании пирротиновых хвостов, содержит мелкодисперсный гематит (α-Fe_2O_3). Попадание частиц шлама в водотоки обусловливает необходимость их удаления непосредственно из водной среды. Ранее нами были получены плавучие сорбенты на основе древесных опилок с магнетитовым покрытием, способные захватывать взвешенный гематит [1]. Гуминовые вещества (ГВ) представляют интерес как регуляторы формирования наночастиц оксидов железа. Целью данной работы было установить влияние гумата на структуру магнетитового покрытия, магнитные свойства сорбентов и их способность захватывать взвешенный гематит.

В ходе работы магнетит осаждали на опилках размером 5–10 мм при номинальном массовом соотношении опилки:Fe_3O_4 = 1:3. Перед введением солей железа к опилкам добавляли раствор гумата натрия, варьируя массовое соотношение гумат/опилки от 0,07 до 0,7. Образец SD5-F3, полученный без ГВ, использовали в качестве контроля. Для характеристики сорбентов применяли рентгеновскую дифракцию, мёссбауэровскую спектроскопию, электронную микроскопию, микро-рентгенофлуоресцентное картирование и магнитометрию.

По данным электронной микроскопии введение гумата сопровождалось уменьшением размера частиц покрытия примерно с 20–30 до 10–20 нм. В дополнительной серии с опилками размером 0,1 мм оценка размера магнитных доменов по мёссбауэровским спектрам уменьшилась с $16{,}67 \pm 0{,}26$ до $14{,}48 \pm 0{,}24$ нм. Удельная поверхность возросла с 5,3 м²/г у контрольного SD5-F3 до 45,7 м²/г у сорбента с ГВ. Вместе с тем по данным картирования покрытие в присутствии гумата было менее равномерным, а намагниченность насыщения сорбента с ГВ снизилась с 31,6 до 23,6 эме/г по сравнению с контрольным.

Таким образом, введение гуминовых макролигандов на стадии формирования магнетитного покрытия позволяет влиять на размер магнитной фазы и связанные с ним магнитные характеристики композита. Полученные результаты показывают возможность использования гуминовых веществ как

регуляторов формирования наноразмерной магнитной фазы при получении магнитных композитных материалов.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова, регистрационный номер 122040600057-3.

Список использованной литературы

1. Zhirkova A.M., Kriuchkova D.S., Gadzhibagomedov R.A., Rajabzoda P.A., Pankratov D.A., Volkov D.S., Perov N.S., Perminova I.V. Floating magnetite-sawdust carriers for the in situ magnetic removal of suspended hematite from red mud-contaminated river water // Colloids and Surfaces C: Environmental Aspects. – 2026. – Vol. 4. – P. 100107.

ТИПОЛОГИЯ ГЕРБИЦИДОВ И СЕГЕТАЛЬНЫЙ ФАКТОР В СТРАТЕГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Ладан С. С.[1], Хасанова Г.Р.[2]
[1]ФГБНУ «ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова», Москва,
[2]Башкирский НИИСХ УФИЦ РАН, Уфа
ecotox@vniia-pr.ru

Применение гуминовых препаратов для снижения постгербицидной депрессии обычно оценивают по состоянию культурного растения. Однако поддержание редокс-гомеостаза, антиоксидантной защиты, мембранной устойчивости, питания и восстановительного роста не является специфичным для культуры: сходную физиологическую поддержку потенциально получает и сорное растение. Оптимальность технологического решения необходимо учитывать по сохранение гербицидного эффекта.

По результатам опытов, где биомасса необработанных растений принималась за 100%: после ALS-ингибитора биомасса культуры составляет 82%, а среднечувствительной *Chenopodium album* – 31%: подавление равно 20 и 70 расчетных потерянных пунктов соответственно. Раннее постгербицидное внесение гуминового препарата повышает биомассу до 95 и 50%. У культуры было восстановлено 15 из 20 потерянных пунктов (75% дефицита), у *C. album* – 20 из 70 (28,6%). Однако остаточная биомасса сорняка возрастала относительно гербицидного варианта на 66,7%, а достигнутое подавление снижалосьс 70 до 50%, т.е. теряется 28,6% гербицидного эффекта. Разность сохранности биомассы культуры и сорняка уменьшалась с 80−30=50 до 95−50=45 п.п.: культура выглядит значительно лучше, но селективное разделение ухудшается. При условном позднем внесении после необратимого повреждения сорняка, например, при 92% биомассы культуры и 32% *C. album*, эта разность достигала 60 п.п. Максимум восстановления культуры не совпадало с оптимумом технологии.

Ключевым фактором выбора схемы применения гуминового препарата необходимо считать физиологический тип гербицидного повреждения.

Гербициды различаются не только молекулярной мишенью, но и скоростью перехода от первичного ингибирования к необратимому состоянию. Ингибиторы PPO и фотосистемы I быстро вызывают окислительное повреждение мембран и некроз. Для ингибиторов PSII и HPPD существует интервал между нарушением фотосинтеза и выраженным фотоокислительным повреждением; действие ACCase-ингибиторов завершается поражением меристем чувствительных злаков. При ингибировании ALS или EPSPS остановка роста и метаболические нарушения существенно предшествуют визуальной гибели; у синтетических ауксинов регуляторные нарушения также развиваются раньше необратимой деградации тканей. Следовательно, продолжительность периода, в течение которого физиологическая поддержка способна изменить конечный эффект гербицида, принципиально неодинакова.

Предварительное применение способно повысить стрессоустойчивость культуры, но одновременно праймировать сорняк. При совместном внесении к физиологическому взаимодействию добавляется вероятность изменения экспозиции гербицида. После обработки результат определяется остаточным восстановительным потенциалом повреждённого растения. Опубликованные опыты подтверждают возможность ослабления гербицидного стресса гуминовыми и фульвокислотными препаратами при совместном и разнесённом применении, в том числе в системах с ALS- и EPSPS-ингибиторами (Mandal et al., 2026). Следовательно, принципиален вопрос не только о восстановлении культуры, но и о возможном восстановлении среднечувствительных сорняков.

Для быстро деструктивных контактных гербицидов гуминовая коррекция поэтому наиболее логична после формирования необратимого повреждения сорняков; для PSII- и HPPD-ингибиторов её следует соотносить с развитием фотоокислительного повреждения; для ACCase-ингибиторов – с утратой жизнеспособности меристем. Наибольшей осторожности требуют ALS- и EPSPS-ингибиторы с длительным интервалом между первичным метаболическим нарушением и гибелью растения; для синтетических ауксинов ориентиром служит переход регуляторного нарушения к необратимому повреждению тканей.

Таким образом, показано, что универсальной схемы «до – совместно – после» для гуминовых препаратов нет. Оптимальное технологическое окно определяется различием восстановительного потенциала культурного и сорного растения после конкретного типа гербицидного повреждения. Сегетальный фактор является обязательным критерием физиологически обоснованной диверсификации применения гуминовых препаратов в системах химической защиты растений.

МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ КАНГАЛАССКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Соловьев Т.М., Эпштейн С.А.
НИТУ МИСИС, Москва
tuskulsolovev@yandex.ru

Введение. Основным ресурсом для получения гуминовых препаратов являются торф и бурый уголь – сложные по составу полезные ископаемые. Как правило, в процессе выделения гуминовых веществ параллельно из ископаемого сырья могут вымываться различные макро- и микроэлементы, в том числе потенциально опасные. С учетом того, что препараты на основе гуминовых веществ активно используются в разных отраслях народного хозяйства, а также перспектив их применения в медицине, то безусловно при выборе сырья и технологии следует обращать внимание на макро- и микроэлементный состав гуминовых препаратов, в особенности на наличие потенциально опасных элементов. Целью данной работы являлась определение макро- и микроэлементного состава раствора гумата натрия, полученного из бурых углей Кангалассского месторождения.

Объекты и методы исследований. В работе исследованы растворы гуматов натрия, полученные щелочной экстракцией бурых углей Кангалассского месторождения (Республика Саха (Якутия)). В качестве экстрагента использован 1% водный раствор гидроксида натрия. Макро- и микроэлементный состав полученных растворов гумата натрия определен на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 7200 Duo (Thermo Scientific). Перед проведением анализа путем осаждения и фильтрования предварительно из исследуемых растворов были удалены гуминовые кислоты. Таким образом, были проанализированы фильтраты, содержащие преимущественно только растворенные макро- и микроэлементы. Стоит отметить, что в работе не представлено содержание натрия, так как его содержание в растворе прежде всего регулируется концентрацией используемого раствора гидроксида натрия.

Дополнительно были проведены опыты по ультразвуковой активации исследуемых углей. Пробы углей были активированы в 1% водном растворе гидроксида натрия с помощью ультразвукового диспергатора МЭФ93.Т (Мэлфиз, Россия) при частоте 22 КГц в течение 15, 30 и 60 минут. После чего также были проведены экстрагирование гуминовых кислот и определение макро- и микроэлементного состава растворов по ранее описанной методике.

Обсуждение результатов. По результатам анализа отмечено, что полученные растворы гумата натрия в большей степени обогащены кальцием (8,1 мкг/мл), железом (2,0 мкг/мл) и алюминием (1,4 мкг/мл), и в меньшей степени – барием (0,1 мкг/мл), магнием (0,6 мкг/мл), марганцем (0,03 мкг/мл), стронцием (0,2 мкг/мл) и титаном (0,2 мкг/мл). При этом содержание потенциально опасных элементов таких как, мышьяк, кадмий, кобальт, хром, молибден и цинк не обнаружено. Примечательно, что в составе бурых углей Кангалассского

месторождения также превалируют кальций, алюминий и железо [1], чем и, скорее всего, объясняется их высокое содержание в растворе гумата натрия.

Исходя из анализа растворов гумата натрия, полученных с применением ультразвуковой активации, в целом отмечено повышение содержания всех ранее выявленных элементов. При этом с увеличением времени активации их содержание повышается. Например, установлено, что активация углей в течение 1 часа приводит к повышению алюминия в 1,4 раза, бария в 3 раза, железа в 1,6 раз, марганца в 2,7 раз, стронция в 2 раза и титана в 3 раза. При этом наиболее существенно увеличивается содержание кальция (с 8,1 до 23,0 мкг/мл) и магния (с 0,6 до 2,9 мкг/мл). Вместе с тем в 2 раза повышается выход гуминовых кислот [1]. На наш взгляд, эти результаты взаимосвязаны с друг другом: ультразвуковое воздействие приводит к разрушению органоминеральных комплексов угольного вещества, и высвобождению как гуминовых кислот, так и частиц металлов. В данном случае, исходя из результатов исследования можно предположить, что гуминовые кислоты в бурых углях Кангаласского месторождения преимущественно находятся в виде органоминеральных комплексов, образованных через атомы кальция и магния.

Выводы. Макро- и микроэлементный состав гуматов натрия, полученных из бурых углей Кангаласского месторождения, в основном представлен кальцием, железом, алюминием и магнием, и не содержит потенциально опасных элементов. Применение ультразвуковой активации приводит к повышению как выхода гуминовых кислот, так и содержания кальция, магния, железа, алюминия, бария, марганца, стронция и титана в растворе гумата натрия.

Список использованной литературы

1. Соловьев Т.М., Шайхислам Г.Б., Эпштейн С.А., Соколова М.Д. Исследование состава и свойств бурых углей Якутии как сырья для получения гуминовых препаратов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 1. – С. 67-79.

ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЗАПАСЫ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В АГРОЧЕРНОЗЕМЕ

Казюлин Л.Ф.
ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», Красноярск
levkrsk.99@mail.ru

Поиск решений, направленных на пополнение почвенного органического вещества с целью повышения плодородия почвы и её оздоровления, в последние десятилетия рассматривается также с позиций смягчения последствий изменения климата за счет депонирования углерода в почве и тем самым снижением его концентрации в атмосфере, где на него возлагается существенная роль в парниковом эффекте. Для пахотных почв основным путем депонирования углерода является интенсификация возделывания сельскохозяйственных культур,

призванная увеличивать урожайность и тем самым обуславливающая прибавку побочной продукции – корниво-пожнивных остатков, пополняющих почвенное органическое вещество. Гуминовые удобрения, применяемые даже на неудобренных посевах, обуславливают существенную прибавку урожая, а значит и дополнительное поступление в почву растительных остатков. Здесь важно отметить стимулирующее действие гуминовых удобрений, прежде всего, на корневые системы, напрямую пополняющие органическое вещество почвы после их отмирания.

Исследования проведены в 2023-2025 гг. в полевом опыте на стационаре «Миндерлинское» в Красноярской лесостепи. Объекты исследования – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный; агроценоз яровой пшеницы сорта Новосибирская 31, возделываемой по чистому пару; гуминовые удобрения Лигногумат АМ и Гумат калия Суфлер и минеральное удобрение аммиачная селитра. Схема полевого опыта: 1. Контроль, 2. N30, 3. N60, 4. Лигногумат АМ, 5. N30 + Лигногумат АМ, 6. N60 + Лигногумат АМ, 7. Гумат калия Суфлер, 8. N30 + Гумат калия Суфлер, 9. N60 + Гумат калия Суфлер. Гуминовые удобрения применялись в предпосевной обработке семян и двукратном опрыскивании вегетирующих посевов в фазу кущения и цветения яровой пшеницы. Смешанные образцы почвы отбирались из 10 индивидуальных проб из слоев 0-20 см и 20-40 см в июне, июле, августе и сентябре. В почвенных образцах в трехкратной повторности определяли общий углерод гумуса и водорастворимый углерод по И. В. Тюрину, щелочегидролизуемый углерод и фракции гуминовых и фульвокислот по И. В. Тюрину в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой. Полученные результаты были проанализированы двухфакторным дисперсионным анализом с помощью программного обеспечения StatSoft STATISTICA 8.0.

Запасы общего углерода гумуса в 0-40 см слое агрочернозема на контрольном варианте составляют 154,6 тС/га, из них на подвижную фракцию органического вещества приходится 20,3 тС/га. Максимальные запасы общего углерода гумуса в 0-40 см слое сформированы на вариантах совместного применения Лигногумата АМ и аммиачной селитры и составляют 165,7-166,4 тС/га, что на 11,1-11,8 тС/га достоверно ($p = <0,001$) больше, чем на контроле. Варианты применения Лигногумата АМ и Гумата калия Суфлер по неудобренному фону оцениваются близкими значениями в 160,7-161,5 тС/га, которые достоверно выше контрольного варианта. Подобная закономерность установлена и для запасов углерода подвижного органического вещества и углерода стабильного гумуса. Наибольший их прирост отмечается на вариантах совместного применения Лигногумата АМ и минерального удобрения, а именно до 24,1-24,9 и 141,5-141,6 тС/га для запасов Спов и Сстаб. гумуса соответственно. Наиболее чувствительной к влиянию применяемых гуминовых удобрений компонентой подвижного органического вещества является фракция гуминовых кислот. Так, под действием Лигногумата АМ в сочетании с азотным удобрением и Гумата калия Суфлер применяемого в чистом виде, увеличиваются запасы углерода гуминовых кислот в 0-40 см слое агрочернозема на 2,7-4,1 тС/га относительно контроля, что сопровождается увеличением качества гумуса – соотношение Сгк/Сфк возрастает до 1,83-1,93 при значении на контроле 1,48.

Значительный прирост запасов углерода гумуса и его фракций при поступлении гуминовых удобрений в агроэкосистему обусловлен их ростостимулирующим действием, прежде всего, на корневые системы, что определяет дополнительное поступление растительных остатков в почву, вовлекаемых в процессы трансформации органического вещества.

Таким образом, применение гуминовых удобрений оказывает влияние на процессы трансформации органического вещества агрочернозема, заключающиеся в усилении процессов гумификации, что подтверждается увеличением запасов углерода гумуса, а также его стабильной и подвижной фракции, в первую очередь за счет увеличения доли гуминовых кислот, сопровождавшейся возрастанием соотношения Сгк/Сфк.

ОЦЕНКА СОСТАВА И ДОЗЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГУМУСОВОГО ПРЕПАРАТА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ГРУНТА ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ

Колмаков И.С., Грехова И.В.
Тюменский ГУ, Тюмень
grehova-rostok@mail.ru

Дизельное топливо – продукт перегонки нефти, содержит смесь углеводородов (парафиновые, нафтеновые, ароматические). Разлив нефти и нефтепродуктов наносит значительный вред окружающей среде. В почве нефтепродукты угнетают почвенную микрофлору и фауну, подавляют активность ферментов, изменяют ее свойства и снижают содержание элементов питания для растений. Естественное самоочищение почвы от нефтепродуктов происходит очень медленно, поэтому для ускорения восстановления загрязнённых участков применяют различные методы рекультивации. При биологической рекультивации используют препараты с содержанием гумусовых веществ. Сотрудники кафедры общей химии тюменского аграрного вуза под руководством И.Д. Комиссарова с 1961 г. изучали состав и свойства гуминовых кислот, а также действие гумата на сельскохозяйственные культуры. По результатам изучения разработана технология получения гуминового препарата, который выпускает научно-производственный центр «Эврика» под торговым названием Росток с 2000 года. При его производстве имеется отход в виде раствора с содержанием торфа и гумусовых кислот, который может использоваться при восстановлении нарушенных земель.

Цель исследований – разработка состава органоминерального удобрения на основе гумусовых кислот и определение дозы применения при биологической рекультивации.

На первоначальном этапе изучали в вегетационном опыте влияние состава и доз удобрений на растения тест-культуры (яровая пшеница). Загрязнение грунта (смесь песка и торфа 1:1) проводили дизельным топливом из расчета 5% его содержания. Сначала поливали грунт водой, затем дизельным топливом. Через трое суток грунт перемешивали для равномерного распределения топлива и

высевали проклюнувшиеся семена тест-культуры. После посева грунт поливали растворами гумусовых препаратов 0,005 и 0,01% концентрации. В производственный отход (торфогумусовый раствор) вводили мочевину и монокалий фосфат: ОУ-1 – без удобрений, ОУ-2 – по 10 г/л, ОУ-3 – по 50 г/л, ОУ-4 – по 100 г/л. В качестве контроля служил грунт без загрязнения и применения гумусовых препаратов. По окончании опыта у растений тест-культуры проводили биометрические замеры: число корней, длину корневой системы, длину растения, массу растения.

Всхожесть семян тест-культуры на контроле и при применении препаратов ОУ-1 (0,005 и 0,01%), ОУ-3 (0,01%), ОУ-4 (0,01%) составляла 93,3%, ОУ-2 (0,005 и 0,01%), ОУ-3 (0,005%), ОУ-4 (0,005%) – 100%. Загрязнение дизельным топливом угнетало растения тест-культуры. Наблюдалось снижение числа корней на 19-26%, длины корней – на 18-35%, длины корня – на 2-17%, длины растения – на 23-33%, массы растения – на 16-23%. На уровне с контролем число корней наблюдалось на варианте с применением ОУ-1 (0,01%) и ОУ-3 (0,005%). Длина корневой системы (сумма длины всех корней) превышала контроль при применении ОУ-1 (0,01%) на 4%. На уровне с контролем по этому показателю были варианты ОУ-2 (0,01%), ОУ-3 (0,005%). Среднюю длину корня определяли делением суммы длины корней на число корней. По длине корня контроль превышали ОУ-1 (0,005 и 0,01%), ОУ-2 (0,01%) на 3-5%. На уровне с контролем по длине растения были ОУ-1 (0,01%), ОУ-2 (0,01%). Масса растения тест-культуры превышала контроль только при применении ОУ-2 (0,01%) на 20%.

Таким образом, по результатам вегетационного опыта для рекультивации нефтезагрязненного участка приготовили препараты ОУ-1, ОУ-2, ОУ-3. В 2026 г. был заложен опыт на территории ХМАО. Расход рабочего раствора препаратов 10 л/м^2. Визуально от контроля значительно отличались все удобрения. Конкретно отличия между удобрения определятся в ноябре. После проведения биометрических замеров растений и анализа почвы будет установлен оптимальный состав органоминерального удобрения на основе гумусовых веществ для биологической рекультивации.

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ГРУНТА ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ

Шувалов Д.В., Грехова И.В.
Тюменский государственный университет, Тюмень
grehova-rostok@mail.ru

Нефть и нефтепродукты при попадании в почву ухудшают её свойства, угнетают почвенную микрофлору и фауну, подавляют активность ферментов, снижают содержание элементов питания для растений. Естественное самоочищение почвы от этих загрязнителей происходит длительное время, поэтому для ускорения восстановления нарушенных участков применяют различные технологии рекультивации. В одном из способов рекультивации

(биорекультивация) используют препараты с содержанием гуминовых кислот. Препараты от разных производителей отличаются составом и действием. В Тюменской области в середине прошлого века производили гуминовый препарат на аккумуляторном заводе. Испытание гумата проводилось на сельскохозяйственных культурах сначала в 50-х годах на агробиостанции Тюменского педагогического института, затем с 1961 г. – на кафедре общей химии сельскохозяйственного института под руководством И.Д. Комиссарова Сотрудники кафедры изучали не только действие гумата на культуры, но и состав и свойства гуминовых кислот. Исследованы молекулярная структура, спектры поглощения, рентгеноструктурная характеристика, электронный парамагнитный резонанс гуминовых кислот. Изучено влияние способа извлечения и процесса очистки на химический состав гуминовых препаратов. Проведены опыты на сельскохозяйственных культурах по влиянию гуминовых препаратов на ростовые процессы, фотосинтез и дыхание, накопление азота в листьях, углеводный обмен, биокаталические процессы. В 2000 г. при вузе организован научно-производственный центр «Эврика», выпускающий гуминовый препарат Росток по разработанной на кафедре технологии. За 26 лет производства препарат изучен на 46 культурах. Все растения положительно отзываются на его применение. Препарат Росток обладает не только стимулирующими, но и адаптогенными свойствами. Необходимо на его основе разработать органоминеральное удобрения для биологической рекультивации нарушенных земель.

Цель исследований – разработка состава органоминерального удобрения на основе гуминовых кислот для биологической рекультивации.

В качестве загрязнителя выбрали дизельное топливо – продукт перегонки нефти, содержит смесь углеводородов (парафиновые, нафтеновые, ароматические). В вегетационном опыте изучали влияние состава и доз препаратов на растения тест-культуры (яровая пшеница). Загрязнение грунта (150 г смеси песка и торфа 1:1) проводили дизельным топливом из расчета 5% его содержания. Сначала поливали грунт водой, затем дизельным топливом. Через трое суток грунт перемешивали для равномерного распределения топлива и высевали семена тест-культуры. После посева поливали грунт водой (контроль №1 и контроль №2) и растворами гуминовых препаратов: Росток (0,002, 0,005, 0,01%), ГП-1 (0,005%), ГП-2 (0,005%), ГП-3 (0,005%), ГП-4 (0,005%). При создании новых препаратов в раствор гуминовых кислот вводили карбамид и монокалий фосфат: ГП-1 – по 10 г/л $(NH_2)_2CO$ и KH_2PO_4, ГП-2 – 50 г/л $(NH_2)_2CO$, ГП-3 – 50 г/л $(NH_2)_2CO$ и 10 г/л KH_2PO_4 , ГП-4 – 100 г/л $(NH_2)_2CO$. Контроль №1 – грунт без загрязнения и внесения препаратов, контроль №2 – загрязненный грунт без применения препаратов. У растений тест-культуры замеряли число корней, длину корневой системы, длину растения, массу растения.

Растения тест-культуры испытывали угнетение от загрязнения грунта дизельным топливом. Наблюдалось снижение числа корней на 12%, длины корней – на 9%, длины корня – на 5%, длины растения – на 30%, массы растения – на 23%. На уровне с контролем № 1 число корней наблюдалось на вариантах с применением препаратов Росток (0,002%), ГП-1, ГП-2, превышение контроля №2 составило 10-14%. Длина корневой системы превышала чистый контроль при применении препаратов Росток (0,002, 0,005%) и ГП-1 на 16-20%, загрязненный

грунт – на 28-32%. По длине корня превышение контроля №1 составило у препаратов Росток (0,002, 0,005%) и ГП-1 19-22%, контроля №2 – 26-30%. Все изучаемые препараты превышали контроль №2 по длине растения на 7-62%. Выше контроля №1 по этому показателю препараты ГП-1, ГП-2, ГП-3 на 4-14%. По массе растения тест-культуры превышали контроль №1 препараты ГП-1 и ГП-3 на 10%.

Таким образом, по результатам вегетационного опыта при проведении биологической рекультивации нефтезагрязненного участка в 2026 году испытывали препараты: Росток (концентрация раствора 0,002 и 0,005%); ГП-1, ГП-2, ГП-3 – все 0,005% концентрации. После окончания опыта будет определен оптимальный состав органоминерального удобрения на основе гуминовых кислот.

ГУМИФИКАЦИЯ СОЛОМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕПАРАТА МИКОБАКТ: ИТОГИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Воробьев Н.И.[1], Ладан С.С.[2], Жемякин В.С.[3]
[1] ФГБНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург
[2] ФГБНУ «ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова», Москва
[3] ООО «Петербургские биотехнологии», Санкт-Петербург
Nik.IvanVorobyov@yandex.ru

Цель работы – изучить влияние биопрепарата Микобакт на послеуборочную гумификацию соломы ячменя и выявить в многолетнем опыте закономерности функциональной ориентации почвенной микробной системы.

Вычислительной нейросетью, разработанной авторами, проведена обработка данных 5-х летнего опыта по выращиванию ячменя в сосудах с дерново-подзолистой почвой. Сравнивали контроль (N1 на рис. 1), внесение соломы (N2), соломы с Микобактом (N3) и смеси соломы, обработанной Микобактом, с зелёной массой козлятника (N4). Ежегодно определяли массу зерна, содержание органического углерода и численность физиологических групп микроорганизмов. Микромицет-бактериальная ассоциация препарата Микобакт эффективно влияла на гумификацию соломы, особенно при добавлении зелёной массы козлятника. Нейросеть выявила динамические функциональные перестройки микробной биосистемы. Индекс CSIyan характеризовал её ориентацию на освоение растительных остатков (DeepYan), индекс CSIinn – на поддержание собственных компонентов (DeepInn), а индекс CSIres – на ресурсную обеспеченность этих процессов. В 2013 г. CSIyan составлял 3,5–3,7; в последующие годы в отдельных вариантах достигал 6,5–7,0. При этом CSIres менялся сходным образом во всех вариантах: снижение в 2014 г., подъём в 2015–2016 гг. и новое снижение в 2017 г. (рис. 1).

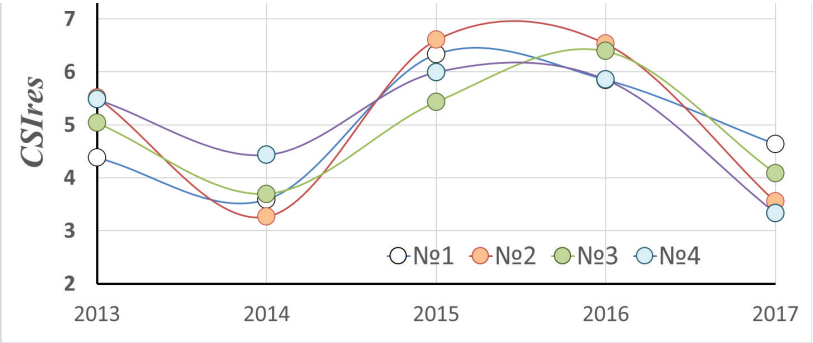


Рисунок 1 – Межгодовая динамика индекса CSIres в четырёх вариантах опыта.

Сходство межгодового хода CSIres при разных способах внесения соломы показывает, что технологическое воздействие каждый год встречало другое ресурсное состояние микробного сообщества. Положительный эффект Микобакта сопровождался изменением соотношения процессов гумификации и поддержания самой биосистемы. Полученные данные позволяют предложить гипотезу о возможном неравнозначном влиянии добавления азота на процессы разложения соломы, что является давно обоснованным технологическим приемом [1]. Вероятно, доступный азот в одни годы снимает ограничение разложения соломы, а в другие – преимущественно поддерживает быстрый рост микробной биомассы, то есть хозяйственная эффективность затрат на азот будет различна. Более того, увеличение ресурса может усиливать колебания в системе взаимодействующих популяций, иллюстрируя экологический эффект «парадокса обогащения» [2].

Биопрепарат Микобакт положительно влиял на гумификации соломы. Показано, что необходимость дополнительного стимулирования этого процесса будет меняться от года к году. Перспективна оценка дозы азота должна оцениваться по функциональному состоянию биосистемы, а не только по массе внесённой соломы. Сопоставление градации азотного питания с индексами, разложением соломы и образованием устойчивого органического вещества и с индексами ресурсной обеспеченности в следующих опытах позволит обосновать методику конкретизации доз азота.

Список использованной литературы

1. Zou W.-X. Effects of straw incorporation combined with decomposing inoculants and nitrogen on soil microbial resource limitations and carbon use efficiency // Journal of Plant Nutrition and Fertilizers. – 2025. – Vol. 31(4). – P. 644–656.

2. Rosenzweig M.L. Science. –1971. – Vol. 171(3969). – P. 385–387.

АГРЕГИРОВАНИЕ МЕЛКОЗЕМА ЧЕРНОЗЕМА ДЛИТЕЛЬНОГО ПАРА В ПРИСУТСТВИИ БУРОГО УГЛЯ И ТОРФОГЕЛЯ

Милановский Е.Ю., Мальцева А.Н.
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
имени В.А. Ковды РАН, Пущино
milanovskiy@gmail.com

Плодородие почв неразрывно связано с функционированием и устойчивостью к антропогенным факторам почвенных агрегатов, обеспечивающих экологические условия среды обитания растений и микроорганизмов, водно-воздушные свойства, определяющих подверженность почв эрозионным процессам. Дегумификация пахотных почв является основной причиной деградации их агрегатной структуры.

Одна из гипотез формирования водоустойчивых агрегатов предполагает наличие (1) гидрофобных органических частиц (продукты химической и микробиологической трансформации *in situ*) внутри агрегата и (2) сорбция компонентов водорастворимого органического вещества, экссудатов и метаболитов на поверхности минеральных частиц, снижающая их смачиваемость, обеспечивающих совместно свойство водоустойчивости агрегатов.

Дефицит в пахотных почвах «свежего» органического вещества и минерализация органических компонентов в агрегатах приводят к нарушению природного баланса гидрофобно-гидрофильных свойств поверхностей твердой фазы агрегатов, быстрому впитыванию влаги в агрегат и его разрушению за счет расклинивающего давления.

Цель исследования – в лабораторных условиях смоделировать природоподобные процессы формирования агрегатов при чередовании 7 циклов увлажнение/иссушение и (7)+2 цикла замораживание/оттаивание.

Имитатором функционирования гидрофобных органических частиц выступает тонкодисперсный (< 20 мкм) бурый уголь (БУ), а модификацию поверхности минеральных частиц выполняет водная суспензия торфогеля (Тг) с размером частиц 0.1 и 1 мм. Каждый из этих веществ, при внесении в почву, оказывает положительное влияние на ее агрофизические свойства.

Объекты. Образец $А_{пах.}$, чернозем типичный, длительный пар (ЦЧЗ им. В.В. Алехина), растерт и просеян через сито < 0.25 мм, $С_{орг.}$ 2.68±0.01%.

Бурый уголь – Канско-Ачинский угольный бассейн, размер частиц < 20 мкм, степень гумификации ОВ 66.9; степень окисленности +3.0; $С_{гк+фк}$ 76.7% (от $С_{общ.}$); $С_{гк}$:$С_{фк}$ 7.04; $D_{465\ нм}^{0.001\%(Сгк)} = 0.20$; E4:E6 4.8; $С_{орг.}$ 51.04±1.39, C:N 27.2.

Торфогель (ТПК КАВИТА, Россия) – 1 мм ($С_{орг.}$ 50.02, C:N 36); 0.1 мм ($С_{орг.}$ 52.46±0.14, C:N 28).

Содержание $С_{орг.}$ в водоустойчивых агрегатах > 0.25 мм в присутствии БУ и Тг на 18-36% выше, чем в варианте «контроль», а в агрегатах 0.1-0.25 мм на 6-7% (Рис. 1).

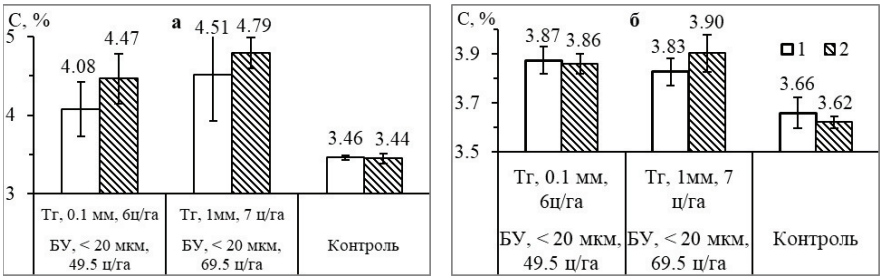


Рисунок 1 – Содержание $C_{орг.}$ в водоустойчивых агрегатах > 0.25 мм (а) и 0.1-0.25 мм (б); 1 – увлажнение/высушивание, 2 - увлажнение/высушивание, замораживание/оттаивание

Для доказательства, что данные водоустойчивые агрегаты формируются благодаря присутствию БУ и Тг необходимы их морфологические и реологические исследования, а также изучение роли числа циклов увлажнение/высушивание (замораживание/оттаивание) при различных значениях влажности.

ПОЛУЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ЭМУЛЬСИЙ ПИКЕРИНГА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОМЫВНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Минников Я. В., Владимиров С.А., Перминова И.В.
МГУ имени М. В. Ломоносова, химический факультет,
Москва, minnikovYV@my.msu.ru

В рамках ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (ЛАРН) в арктических территориях представляет интерес использование твердых стабилизаторов эмульсий Пикеринга для создания природоподобных промывных систем, обеспечивающих перенос нефтяных загрязнителей с твёрдых субстратов в водную фазу. Твердые частицы закрепляются на границе «нефть-вода», формируют межфазный слой и препятствуют слиянию капель, инкапсулируя их. Путем направленной модификации поверхности твердых частиц можно регулировать свойства соответствующих промывных агентов и диспергентов. Цель работы - модификация поверхности твердых стабилизаторов и оценка эффективности их применения для стабилизации эмульсии Пикеринга “масло в воде” в составе поверхностных промывных агентов (ППА).

В качестве минеральных частиц-стабилизаторов использовали диатомит, мусковит, каолинит, цеолит, бентонит, мел, уголь и шунгит. Для направленной модификации использовали бентонит. Для этого на поверхности частиц бентонита иммобилизовывали гуминовые макролиганды после гумат после насыщения кальцием, применяли обработку (3-аминопропил) триэтоксисиланом, а также получали производное органосилана и пальмитиновой кислоты в качестве

олеофилизирующего агента. Отдельно исследовали добавление гумата калия в суспензию исходного бентонита. Гидрофильность исходных частиц оценивали по коэффициенту распределения флуоресцеина, средний диаметр - методом лазерной дифракции. Эффективность промывки кварцевого песка, загрязнённого нефтью, дизельным топливом или керосином, определяли по остаточному содержанию загрязнителя методом ИК-спектроскопии согласно методике определения массовой концентрации нефтепродуктов в водах. Оценка структуры эмульсий проводилась методом эпифлуоресцентной микроскопии.

Сравнение исходных материалов показало связь эффективности промывки с дисперсностью и смачиваемостью частиц. Мелкие гидрофильные минеральные частицы способствовали формированию эмульсий Пикеринга. Для бентонита микроскопически выявлены капли дизельного топлива, окружённые твёрдыми частицами. Сочетание водной диспергируемости и возможности химического изменения поверхности позволило выбрать бентонит в качестве основы для дальнейшей модификации.

Модификация бентонита (3-аминопропил) триэтоксисиланом (АПТЭС) повысила среднюю эффективность удаления дизельного топлива с 29 до 52 %. Этот образец также показал наибольшую среднюю эффективность удаления керосина, однако при удалении нефти преимущества перед исходным бентонитом не наблюдали. Олеофилизация не обеспечивала сопоставимого улучшения промывки. Добавление гумата калия в суспензию исходного бентонита повышало среднюю эффективность удаления нефти и дизельного топлива, однако модификация поверхности гуматом кальция её снижала. Показано, что стабилизирующая способность твердых частиц в отношении эмульсий Пикеринга дизельного топлива в воде возрастает для частиц меньше 10 мкм и с более гидрофильной поверхностью, что подтверждено эпифлуоресцентной микроскопией. На основании модификации поверхности частиц бентонита гуминовыми веществами, аминопропилтриэтоксисиланом и пальмитиновой кислотой установлено, что максимальной стабилизирующей способностью обладали АПТЭС-модифицированные частицы в силу их гидрофильности, тогда как гидрофобизованные частицы органическими лигандами - минимальной. Наиболее универсальный результат показал бентонит, модифицированный 3-аминопропилтриэтоксисиланом: эффективность промывки составляла около 62 % для керосина, около 52 % для дизельного топлива и около 35 % для нефти.

Таким образом, было показано, что с помощью направленной модификации поверхности минеральных частиц, являющихся твердыми стабилизаторами эмульсий Пикеринга, можно повышать эффективность применения ППА в ЛАРН для прибрежных территорий.

Автор выражает благодарность Оралу Жилкибаеву за предоставленные образцы бурого угля. За предоставление возможности работы на эпифлуоресцентном микроскопе – лаборатории биофотоники физического факультета МГУ под руководством д.ф.-м.н. Е.А. Ширшина. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ 122040600057-3.

СИНТЕЗ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫМИ ГУМИНОВЫМИ МАКРОЛИГАНДАМИ

Артемов Д.А., Чжан Сымэн, Жиркова А.М., Перминова И.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва
daniila22229@gmail.com

Рост антибиотикорезистентности микроорганизмов обусловливает необходимость разработки новых антибактериальных материалов. Наночастицы серебра обладают антимикробной активностью, однако их применение ограничивается склонностью к агрегации и возможной токсичностью. Природные гуминовые вещества перспективны в качестве восстановителей и стабилизаторов наночастиц. При этом выбор условий получения композитов важен для согласованного управления их структурными характеристиками и биологической активностью. Цель работы – установить влияние режимов синтеза в среде гуминовых макролигандов на кинетику формирования, размер и антибактериальные свойства наночастиц серебра.

Наночастицы получали восстановлением нитрата серебра гуминовым препаратом CHP-Na (HuminTech). Растворы гуминовых веществ предварительно центрифугировали для удаления нерастворимых примесей и доводили до pH 11. Синтез проводили на водяной бане и в микроволновом реакторе с контролируемым нагревом. Сопоставление двух способов нагрева позволило оценить особенности формирования наночастиц при различных режимах подвода энергии. Исследовали влияние температуры, продолжительности нагрева, pH и мощности микроволнового излучения. Формирование наночастиц контролировали методом УФ–видимой спектроскопии по полосе поверхностного плазмонного резонанса. Размеры и морфологию изучали методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и малоуглового рентгеновского рассеяния (SAXS), данные которого обрабатывали в программе SasView. Антибактериальную активность оценивали по показателю MIC50 в отношении клинического метициллин-резистентного штамма *Staphylococcus aureus* (MRSA).

По спектрофотометрическим данным, при нагреве на водяной бане завершение основного процесса формирования наночастиц наблюдалось через 270 мин при 80 °C и через 255 мин при 90 °C. Максимумы полосы плазмонного резонанса составляли соответственно 412 и 415 нм. Среди исследованных микроволновых режимов наиболее коротковолновый максимум наблюдался при мощности 500 Вт (417 нм), тогда как при 400 и 550 Вт он составлял 422 и 425 нм. Снижение pH с 11 до 6 сопровождалось длинноволновым сдвигом полосы, согласующимся с увеличением размера частиц. Этот эффект связывают с протонированием фенольных групп гуминовых веществ и снижением их восстановительной способности. Для дальнейшего изучения выбрали синтез на водяной бане при 80 °C.

При увеличении времени синтеза средний диаметр частиц по данным ПЭМ уменьшался приблизительно с 40 до 5 нм. Метод SAXS также выявил уменьшение

характерного размера с последующим выходом на плато: полученные значения изменялись от 47 до 32 нм. Таким образом, оба метода показали общую тенденцию к уменьшению размеров при длительном нагреве, хотя численные оценки различались. Зависимость MIC50 от времени синтеза имела немонотонный характер: первоначальный рост сменялся плато и последующим снижением, соответствующим повышению антибактериальной активности. Высокую активность наблюдали у образцов, полученных при продолжительности синтеза свыше 150 мин. Совместный анализ спектральных, структурных и антибактериальных данных позволил выделить три стадии: конверсию ионов серебра в наночастицы, квазистационарное состояние и последующее уменьшение размера частиц. Последнюю стадию предположительно связывают с обратным созреванием Оствальда. Уменьшение размера сопровождалось снижением MIC50 и повышением антибактериальной эффективности.

Полученные результаты показывают возможность регулирования размеров и функциональных свойств, гумин-стабилизированных наночастиц серебра подбором условий синтеза и подтверждают перспективность этих композитов для разработки антибактериальных материалов. Выявленные зависимости могут служить основой для дальнейшего подбора режимов получения композитов с требуемой антибактериальной активностью.

Исследование выполнено в рамках Госзадания МГУ 122040600057-3.
Исследования SAXS выполнены в НИЦ «Курчатовский институт» (станция ДИКСИ), ПЭМ - микроскоа Carl Zeiss Libra 200MC в ЦКП «Нанохимия и наноматериалы»

ВЛИЯНИЕ ПОЧВОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ ЛАБИЛЬНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПАХОТНОМ ГОРИЗОНТЕ ТЕМНО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ

Зиганшина А.Р., Фарходов Ю.Р., Данченко Н.А., Семёнов М.В.
ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва
ziganshina_ar@esoil.ru

Недостаток влаги и ветровая эрозия требуют применения почвосберегающих технологий, например нулевой обработки. Нулевая обработка, или No-Till, подразумевает отсутствие механической обработки и оставление стерни на поверхности почвы, что в долгосрочной перспективе приводит к накоплению углерода в почве. Поскольку процессы превращения растительных остатков и органических молекул под влиянием нулевой обработки могут протекать различным образом в зависимости от факторов почвообразования, изучение этих процессов не теряет актуальности. Особый интерес в этом контексте представляет лабильный пул почвенного органического вещества (ПОВ) – наиболее динамичная часть органического вещества, чутко реагирующая на изменение факторов почвообразования. Одним из наиболее

доступных и показательных методов изучения лабильного ПОВ является анализ водоэкстрагируемого органического вещества (ВЭОВ). Цель исследования – оценка содержания и состава ВЭОВ при традиционных и почвосберегающих технологиях.

В качестве объектов исследования выбрана темно-каштановая почва (Ставропольский край), под влиянием следующих обработок (в порядке убывания степени механической нагрузки): 1) нулевая обработка непрерывно в течение 15 лет; 2) нулевая обработка непрерывно в течение 8 лет; 3) минимальная обработка; 4) традиционная вспашка. Экстракцию ВЭОВ проводили при соотношении почва:вода 1:5 в течение 8 ч с последующей фильтрацией через мембрану с диаметром пор 0,45 мкм. В полученных экстрактах измеряли поглощение электромагнитного излучения в УФ-видимом диапазоне, а также флуоресценцию в этом диапазоне. По полученным данным рассчитывали распространённые в литературе оптические дескрипторы, а также с помощью параллельного факторного анализа (PARAFAC) оценивали активность флуоресцирующих ВЭОВ. Содержание углерода во фракции ВЭОВ (ВЭОС) оценивали методом высокотемпературного каталитического окисления.

При одинаковом содержании ВЭОС (около 138 мг С/кг почвы) во всех вариантах опыта, в ряду «No-Till 15 лет – No-Till 8 лет – минимальная обработка – традиционная обработка» наблюдается рост $SUVA_{254}$ и уменьшение S_R, $S_{350–400}$ и $S_{300–700}$. Полученные данные свидетельствуют о том, что переходящие в раствор органические молекулы имеют тенденцию к увеличению ароматичности и молекулярной массы по мере усиления механического воздействия. Вероятно, при отсутствии механических нарушений крупные ароматические молекулы удерживаются твёрдой фазой почвы, что способствует накоплению в ней углерода.

Индекс гумификации (HIX), а также вклад гуминоподобных компонентов в общую флуоресценцию убывают в ряду: традиционная вспашка - минимальная обработка - No-Till. При этом длительное применение технологии No-Till (15 лет) по сравнению со среднесрочным (8 лет) привело к увеличению флуоресцентной активности гуминоподобных компонентов на 14%, а HIX – на 15%. Наблюдаемую высокую степень гумификации в почвах, нарушенных механической обработкой, можно объяснить деградацией крупных молекул гуминовых кислот и более интенсивным переходом продуктов их деградации в водную вытяжку. Можно предположить, что различия между 15-летним и 8-летним вариантами нулевой обработки обусловлены тем, что накопление органического вещества при её длительном применении происходит путём быстрого приращения массы флуоресцентно неактивных молекул, которые затем гумифицируются; в период 8–15 лет их оптическая активность возрастает на 14–15%. Для выяснения полного потенциала применения нулевой обработки на темно-каштановых почвах в целях накопления конденсированного, более стабильного почвенного органического вещества необходимо продолжение наблюдений.

Таким образом, уменьшение степени механического воздействия на темно-каштановые почвы способствует накоплению и закреплению более переработанного органического вещества в почве. Полный потенциал

применения нулевой обработки для фиксации углерода в тёмно-каштановых почвах не достигается за 8 лет.

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Механизмы микробного преобразования секвестрированного углерода в почвах агроэкосистем» (№ FGUR-2025–0011).

ВЛИЯНИЕ ЛИСТОВОЙ ПОДКОРМКИ ПРЕПАРАТАМИ С ФУЛЬВОКИСЛОТАМИ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ СОРТА «БУРЛАК»

Старкова А.А., Субботина М.Г.
ФГБОУ ВО Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь
astarkova40@gmail.com; subbotina@mail.ru

Введение. Повышение урожайности и качества зерна пшеницы остаётся одной из приоритетных задач отечественного растениеводства. Одним из таких приёмов является некорневая подкормка биологически активными препаратами, в частности на основе фульвокислот – низкомолекулярной фракции гуминовых веществ, отличающейся высокой растворимостью, подвижностью и способностью проникать в растительные ткани. Механизм действия фульвокислот связан с их хелатирующими свойствами: образуя водорастворимые комплексы с макро- и микроэлементами, они облегчают транспорт питательных веществ через клеточные мембраны и повышают коэффициент их использования растением. Классической работой в этой области стало исследование Xudan X. (1986), показавшее, что листовая обработка пшеницы фульвокислотами в условиях засухи снижает устьичную проводимость, повышает содержание хлорофилла и увеличивает урожайность на 7,3–18,0%.

Цель исследования – оценить влияние листовой подкормки препаратами с фульвокислотами на урожайность зерна яровой пшеницы сорта «Бурлак.

Материал и методика исследования. Полевой опыт проведен на испытательном участке ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, расположенном в Пермском крае в д. Огрызко. Объект исследования: яровая пшеница сорта «Бурлак». Влияние листовых подкормок на урожайность и качество яровой пшеницы, изучали в опыте по следующей схеме: Фактор А – дозы мочевины (карбамид 46% N) A_0 – без азота, A_1 –N_5, A_2 –N_{10}. Фактор В – виды препаратов с фульвокислотами в дозе 2 г/га: B_0 – вода, B_1 – стандартный раствор фульвокислот (ФК), B_2 – Лигногумат, B_3 – Агрофульмин.

Опыт двухфакторный, заложен в четырёхкратной повторности рендомизированным методом. Уборка была проведена методом прямого комбайнирования. Делянки расположены в два яруса. Общая площадь 800 м². Норма высева 250 кг/га. Под культивацию вносились NPK в дозе по 45 кг/га с помощью РУМ. Некорневые подкормки проводились вручную в фазу кущения с

помощью опрыскивателей расход жидкости 200 л/га. Учет урожайности методом прямого комбинирования. Опыт проводился по стандартной методике в изложении Б.А. Доспехова (2011).

Результаты исследования. Представлены экспериментальные данные, полученные в ходе полевого опыта по изучению эффективности применения препаратов: стандартный раствор фульвокислоты, «Лигногумат», «Агрофульмин» в сочетании с дозами азота на посевах яровой пшеницы сорта Бурлак. Оценка проведена по комплексу показателей, включающих урожайность и качество зерна.

Таблица 1. Влияние листовой подкормки на урожайность яровой пшеницы сорта «Бурлак»

Фактор А	Фактор В				Среднее по фактору В $НСР_{05}$ =0,12
	B_0	B_1	B_2	B_3	
A_0	2,69	2,69	2,77	2,81	2,80
A_1	2,70	2,97	2,74	2,66	2,76
A_2	2,80	2,96	2,69	3,14	2,89
Среднее по фактору А $НСР_{05}$=0,18	2,73	2,96	2,70	2,87	-

В ходе опыта установлено достоверное влияние дозы азота и препаратов с фульвокислотами на урожайность пшеницы сорта «Бурлак» ($НСР_{05}$ = 0,18 и 0,12 соответственно). Максимальная урожайность – 3,14 т/га – получена при сочетании N10 и «Агрофульмина» (А2×В3); при этом «Агрофульмин» на фоне N5 снижал урожай (до 2,66 т/га). Наиболее стабильный эффект обеспечил стандартный раствор фульвокислот (2,96 т/га). Обработка водой не дала прибавки. Рекомендовано применять N10 с дифференцированным выбором препарата.

Выводы. В результате проведённых исследований было установлено, что внесение стандартного раствора фульвокислот в состав листовой подкормки обеспечивало среднюю прибавку урожайности 0,23 т/га относительно варианта без применения препаратов. Препарат Агрофульмин также обеспечил достоверную прибавку на 0,14 т/га. Средняя урожайность по фактору А составила: A_0 (N_0) - 2,80 т/га, A_1 (N_5) - 2,76 т/га, A_2 (N_{10}) - 2,89 т/га.

СЕКЦИЯ 6
ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И БИОЭКОНОМИКИ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМ

Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Васильева Н.С.
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург
sznii@yandex.ru

Введение. Сегодня возникает целый ряд факторов, сдерживающих развитие производства качественной сельскохозяйственной продукции. Среди основных негативных явлений: деградация почв сельскохозяйственных земель, которая ежегодно в России составляет более 2 млн. га, низкая степень вовлечения побочных продуктов животноводства и растениеводства в цикл производства продукции и как следствие образование отходов, загрязняющих окружающую среду. В стране ежегодно образуется более 500 млн. тонн вторичных органических ресурсов, в виде побочных продуктов животноводства (ППЖ) и растениеводства из которых возвращается в сельскохозяйственный оборот менее 50%. Решение сложившейся проблемы требует внедрения наукоемких технологий и цифровых систем, обеспечивающих эффективное вовлечение побочных продуктов животноводства в экономику замкнутого цикла в виде высокоэффективных органических и органоминеральных удобрений, способствующих восстановлению почвы.

Объекты и методы исследований. В рамках данного исследования применялся метод системного анализа, включающий анализ и обобщение данных из опубликованных научных работ, посвященных созданию технических систем для обеспечения экологической безопасности переработки и использования ППЖ. Объектом исследования являются машинные технологии переработки и использования ППЖ, задействованные технологические процессы и технические средства, а также методы и цифровые системы управления экологической безопасностью сельскохозяйственных экосистем, обеспечивающие снижение выбросов климатически активных веществ, диффузное загрязнение водных объектов и эффективное использование органических удобрений.

Обсуждение результатов. Мировой опыт решения глобальных экологических проблем показывает необходимость создания системы управления экологической безопасностью, основанной на нормативно-методическом обеспечении, финансовых инструментах, информационных технологиях, административно-технологическом сопровождении и инженерно-техническом обеспечении. Все эти элементы системы должны иметь научно-техническую базу.

Среди важнейших элементов научно-технической базы: разработка программно-аналитических комплексов мониторинга, оценки, прогнозирования и управления экологической безопасностью в агропромышленном комплексе;

разработка экологически безопасных технологий, комплексов машин и оборудования для управления сельскохозяйственными агроэкосистемами.

При создании единой цифровой платформы агропромышленного и рыбохозяйственного комплекса с применением технологии искусственного интеллекта необходима разработка системы, позволяющей вести оценку и анализ информации, связанной с вопросами обеспечения экологической устойчивости агроэкосистем и эффективного вовлечения вторичных ресурсов в хозяйственный оборот. В этом направлении ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработана интеллектуальная аналитическая программная платформа для оценки экологической безопасности, прогнозирования и управления сельскохозяйственными экосистемами, (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024681867).

К наиболее распространённым технологиям переработки твердых ППЖ относится традиционное компостирование, которое реализуется на открытых площадках с твердым покрытием. К менее распространенной технологии, но наиболее перспективной, относится управляемая биоферментация. Перспективой дальнейшего развития данного направления является разработка оборудования и машин для приготовления комплексных удобрений с сбалансированным составом и гранулометрическим характеристиками для их применения с помощью системы точного внесения.

Выводы. По минимальным оценкам внедрение системы управления экологической безопасности агроэкосистем и наукоемких технологий вовлечения побочных продуктов животноводства в сельскохозяйственный оборот в качестве высокоэффективных удобрений, позволит обеспечить экологическую безопасность и увеличить валовый объем растениеводческой продукции. Например, сбор зерна по усреднённым данным может увеличиться на 12 млн. тонн в год, а эколого-экономический эффект от снижения рисков загрязнения окружающей среды и укрепления здоровья граждан оценивается от 500 до 1500 млрд. руб.

ПРИРОДОПОДОБНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГУМИНОВЫХ УДОБРЕНИЙ И ПРЕПАРАТОВ

Безуглова О.С.
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону
Академия биологии и медицины им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону
lola314@mail.ru

Исследования показывают, что биостимуляторы на основе гуминовых веществ способны снижать гербицидную нагрузку для нецелевых культур, усиливать усвоение питательных веществ растениями, тем самым позволяя снизить дозы агрохимикатов. Не меньшее значение имеют адаптогенные свойства гуминовых препаратов, позволяющие повысить выживаемость сельскохозяйственных культур в условиях аридизации.

Развитие гуминовой отрасли шло по пути поиска наиболее универсальных, экологически безопасных и экономически целесообразных способов получения гуминовых удобрений и препаратов из природных источников гуминовых соединений (торф, бурый уголь и сапропель). Получили развитие и методы переработки отходов промышленных производств, прежде всего целлюлозно-бумажной промышленности (лигногумат), а также отходов сельскохозяйственного производства (из компостов и вермикомпостов). Однако все известные способы связаны или с применением химических реактивов, или с воздействием на сырье физических методов.

Нами предложен и запатентован способ* получения линейки гуминовых удобрений и препаратов без применения химических реагентов, на основе промышленной биодинамической (ускоренной и углубленной) конверсии сельскохозяйственных и других биоразлагаемых отходов в гумифицированные органо-минеральные удобрения в жидком и твердом виде. В основе этого способа лежит подражание природному процессу элювиирования почвенных растворов через почвенную толщу, в силу чего и получаемый в итоге жидкий продукт с растворенными в нем гуминовыми веществами получил название элюат.

Технической задачей данного способа было создание промышленной биоконверсии и технической системы для его осуществления, которые позволяют модернизировать твердофазную биоферментацию органических отходов и получить в одном корпусе системы два наиболее эффективных продукта биоферментации разного фазового состояния: твердофазные гумифицированные органо-минеральные удобрения и, попутно с ними, водные элюаты с высокой концентрацией биологически активных веществ гумусовой природы без использования химических реагентов. Твердофазные гумифицированные органо-минеральные удобрения (биогумус, неогумус) вносят в почву, причем доза внесения определяется потребностями культуры и состоянием почвы. Возможно использование в качестве инициирующего удобрения для создания искусственных субстратов (искусственной почвы). Особый интерес представляет применение элюата для листовых обработок при возделывании полевых, овощных и садовых культур. Универсальность этого препарата определяется тем, что действующим веществом являются гуминовые кислоты, высокая концентрация (не менее 15 г/л) которых позволяет рекомендовать к применению довольно низкие дозы элюата (например, для полевых культур – 2 л/га). Элюат добавляется в расчетном количестве к баковым смесям, либо в поливную воду, при этом количество обработок может быть как однократным (например совместно с гербицидный обработкой), так и многократным. Нами в полевых условиях использовались как однократная, так и двукратная обработка. Например, при возделывании озимой пшеницы применялась однократная обработка в фазу кущения и двукратная обработка в фазы кущения и колошения. Результаты показали преимущество двукратной обработки, хотя и однократное использование давало прибавку по сравнению с контрольным вариантом. Однако в экстремально засушливый год достоверную прибавку урожайности озимой пшеницы обеспечивала только двукратная обработка. Изучение почвенных характеристик показало, что на вариантах с листовой обработкой элюатом содержание подвижных форм азота, фосфора и калия в черноземе обыкновенном

под озимой пшеницей было выше, чем на контрольном варианте. Особенно ценным является повышенное содержание P_2O_5, что обусловлено хелатирующей способностью гуминовых кислот и предотвращением ретроградации фосфора в карбонатных почвах.

*Абрамов А.А., Безуглова О.С., Куликов И.Н., Коваленко О.В., Богданов А.В. Способ промышленной переработки органических отходов и система для его осуществления. Приоритет изобретения 26.07.2024. Госрегистрация в Госреестре изобретений РФ 05.05.2025. Патент №2839464.

ВЛИЯНИЕ ЖИДКОГО ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ ГУМАТ КАЛИЯ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

Халецкая Г.Ю.
Федеральный Ростовский аграрный научный центр, г. Ростов-на-Дону
14142135galina@gmail.com

Ферментативная активность почвы является чувствительным индикатором ее биологического состояния и плодородия. Применение органоминеральных удобрений на основе торфа, в частности гумата калия, рассматривается как перспективный прием биологизации земледелия. Однако их воздействие на ферментативный пул почвы при совместном внесении с возрастающими дозами минеральных удобрений изучено недостаточно.

Цель работы – оценить влияние гумата калия (органоминерального удобрения на основе торфа) на динамику ферментативной активности почвы при различных уровнях минерального питания.

Исследования проводили на черноземе обыкновенном карбонатном Приазовской зоны Ростовской области в 2023-2025 гг. Возделываемая культура – подсолнечник. Схема опыта включала два фактора: фактор А – обработка гуматом калия на основе торфа, фактор Б – фон минерального питания (без удобрений, 100 (средний фон) и 200 кг (высокий фон) в ф.в. азофоски при посеве). Отбор почвенных образцов проводили в четыре срока: 1) возобновление весенней вегетации (до внесения удобрений); 2) фаза 3–4 листьев (через месяц после внесения); 3) фаза цветения (через два месяца); 4) перед уборкой.

Анализ литературы показывает, что гумат калия стимулирует активность гидролитических ферментов: инвертазы на 21,7–39,5%, уреазы на 16,6–33,3%, фосфатазы до 16–35% относительно контроля. Внесение возрастающих доз минеральных удобрений (азофоски) оказывает неоднозначное действие: умеренные дозы могут поддерживать активность ферментов, тогда как высокие дозы способны ингибировать уреазу и инвертазу. Наиболее информативными ферментами-индикаторами в данном опыте выступают фосфотаза и уреаза.

Наиболее выраженное положительное влияние гумата калия на ферментативную активность почвы в наших исследованиях отмечено в фазу цветения на среднем фоне минерального питания (100 кг/га азофоски). В этот период на варианте с гуматом калия на среднем уровне питания наблюдалось

повышение активности обоих изучаемых ферментов относительно варианта без гумата: активность фосфотазы в среднем возрастала на 0,33 мг P_2O_5/10 г/ 1 ч., второго – на 0,80 мг NH_3/10 г/ 24 ч. Полученные данные согласуются с литературными сведениями о том, что гуминовые препараты, в том числе гумат калия, способны стимулировать гидролитические ферменты почвы: уреазу – на 16,6–33,3%, фосфатазу – до 16–35% относительно контроля. Объяснение этому эффекту лежит в самой природе гумата калия как органоминерального удобрения на основе торфа. Гуминовые кислоты, составляющие его основу, выступают в роли биологически активных веществ, которые стимулируют развитие почвенной микробиоты и активизируют ферментативные процессы в ризосфере. В фазу цветения, когда растения испытывают максимальную потребность в элементах питания для формирования генеративных органов, гумат калия на фоне умеренной дозы азофоски (100 кг/га) обеспечивает наиболее сбалансированное сочетание доступного минерального питания и органических стимуляторов микробной деятельности. Именно в этот период, как отмечается в литературе, гуминовые вещества особенно активно влияют на образование углеводов и белков, что косвенно подтверждает их роль в активизации ферментативного аппарата почвы. Повышенная активность ферментов в фазу цветения на среднем фоне, вероятно, связана с тем, что корневые выделения растений в этот период наиболее интенсивны, а гумат калия, поддерживая оптимальную численность и активность микроорганизмов-продуцентов ферментов, усиливает их каталитический потенциал. При этом высокая доза азофоски нивелирует этот эффект, что может быть обусловлено ингибирующим действием избыточных концентраций минеральных солей на микробный ценоз, тогда как умеренный фон создаёт условия, при которых стимулирующее действие гумата калия на ферментативную активность проявляется в полной мере.

СО-КОМПОСТИРОВАНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЁННОГО ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД С ГУМАТОМ КАЛИЯ И АДАПТИРОВАННЫМ ИНОКУЛЯТОМ

Бирюков А.В.[1], Гречищева Н.Ю.[1], Миронов В.В.[2]
[1]РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва,
[2]Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва
birand1999@gmail.com

Введение. Осадки сточных вод остаются одним из самых массовых органических отходов: их нужно обезвредить и вернуть органическое вещество в оборот. Нефтяное загрязнение задачу усложняет. Со-компостирование с лигноцеллюлозными материалами решает обе задачи и снижает фоновое содержание нефтепродуктов [1]; при высокой дозе внесённой нефти скорость упирается в биодоступность углеводородов [2]. Авторы ранее провели 98-суточный опыт: городской осадок компостировали с древесной щепой, добавив

нефть (5 % от массы осадка). Нефтепродукты снизились с 4,8 до 1,2 %. Но вскрылись два ограничения. Деструкция шла избирательно: отношение алканы/ароматика по ГХ-МС упало с 2,77 до 0,41, а доля ароматики от полного ионного тока выросла с 0,55 до 0,90 %, то есть насыщенные углеводороды разлагались, ароматическая фракция накапливалась. Вдобавок нефть угнетала сам процесс: максимум суточной средней температуры – 60,8 против 71,4 °С без нефти. Оба ограничения требуют интенсификации. Проверяются два приёма, приложенных к разным звеньям. Гуминовые препараты амфифильны и повышают биодоступность гидрофобных соединений, но способны и удерживать их: эффект разнонаправлен и зависит от концентрации [3]. Добавки меняют и ход гумификации [4]. Второй приём – инокуляция сообществом, адаптированным к углеводородам [5]. Но гумат создаёт методическую трудность: гуминовые кислоты лигнита и леонардита сами высокоароматичны [6, 7], поэтому прежние показатели состава нельзя без оговорок относить к нефтяной ароматике. Отсюда цель: выяснить, преодолевают ли эти приёмы ароматический барьер и снимают ли угнетение саморазогрева, и задать способ, которым нефтяную ароматику отделяют от гуминовой.

Объекты и методы исследований. Базовая смесь – осадок сточных вод (8 кг), древесная щепа и опилки (5,6 и 1,4 кг). Опыт заложен в четырёх камерах биореактора (10 л, принудительная аэрация, автоконтроль температуры); загрузка 3,7–3,9 кг. Схема: SP2-41 – нефть и гумат калия (по 173 г); SP3-41 – нефть, гумат калия и инокулят (по 165 г); SP5-41 – нефть и инокулят (по 150 г); SC6-41 – инокулят без нефти и гумата (168 г). Камеры «только нефть» в закладке нет: референсом для гумата служит SP5-41, серия без добавок остаётся ориентиром. Гумат калия получен из леонардита. Инокулятом послужили субстраты после 98 суток предыдущей серии; в нефтяные варианты – уже контактировавшие с нефтью. Пробы отбирают каждые 14 суток до 98-х и хранят замороженными. Определяют влажность, органическое вещество, убыль массы, pH и электропроводность вытяжки, N-NH_4, общий азот, тяжёлые металлы, индекс прорастания, микробное сообщество. Нефтепродукты – гравиметрически после очистки на Al_2O_3 (операционный ТРН) и методом ГХ-МС: фракционирование экстракта, внутренний стандарт, характеристичные ионы, включая m/z 191.

Ожидаемые результаты. Очистка на Al_2O_3 отделяет полярные гуминовые кислоты от углеводородной фракции, поэтому гравиметрия зависит от препарата слабее, чем ионные отношения ГХ-МС. Доля ароматики от полного ионного тока и отношение алканы/ароматика, напротив, сместятся вкладом препарата, и сместятся туда же, куда ожидается эффект. Отсюда два обязательных условия: холостая проба гумата через полную пробоподготовку и нормировка нефтяных сигналов на консервативный биомаркер 17α(H),21β(H)-гопан, который переживает длительное выветривание нефти [8]. Внутренний стандарт нужен для количественного определения, нативный гопан – для отношений «углеводород/репер». Стереохимию гопанов и отношение дибензотиофены/фенантрены используют как признаки источника, но лишь после холостой пробы: щелочной экстракт не обязан содержать свободные гопаны.

Ожидается, что гумат изменит прежде всего избирательность деструкции. Действие гуминовых веществ разнонаправленно [3], поэтому возможен и

обратный исход: убыль снизится оттого, что матрица препарата удержит углеводороды. Различить случаи позволит сопоставление SP2-41 и SP3-41 с SP5-41. Угнетение считается снятым, если термофильная фаза в нефтяных камерах восстановится. Зрелость оценивают по индексу прорастания и C/N [4].

Выводы. Четырёхкамерная схема разделяет вклад гумата калия и адаптированного инокулята в деструкцию нефти, саморазогрев и созревание компоста. Если не поставить холостую пробу и не нормировать сигналы на консервативный биомаркер, долю ароматики в системах с гуматом леонардита легко принять за эффект очистки.

Список использованной литературы

1. Xu S., Zhan J., Li L., Zhu Y., Liu J., Guo X. Total petroleum hydrocarbons and influencing factors in co-composting of rural sewage sludge and organic solid wastes // Environmental Pollution. – 2023. –Vol. 319. – Art. 120911.
2. Mekonnen B.A., Aragaw T.A., Genet M.B. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: a review on principles, degradation mechanisms, and advancements // Frontiers in Environmental Science. – 2024. –Vol. 12. – Art. 1354422.
3. Gholami S., Behnami A., Hesami Arani M., Rezaei Kalantary R. Impact of humic substances on the bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminated soils and sediments: A review // Environmental Chemistry Letters. – 2024. – Vol. 22. – № 2. – P. 889–918.
4. Chen L., Chen Y.-N., Li Y.-P., Liu Y.-H., Jiang H., Li H., Yuan Y., Chen Y.-R., Zou B. Improving the humification by additives during composting: A review // Waste Management. – 2023. – Vol. 158. – P. 93–106.
5. Curiel-Alegre S., Khan A.H.A., Rad C., Velasco-Arroyo B., Rumbo C., Rivilla R., Durán D., Redondo-Nieto M., Borràs E., Mologноni D., Martín-Castellote S., Juez B., Barros R. Bioaugmentation and vermicompost facilitated the hydrocarbon bioremediation: scaling up from lab to field for petroleum-contaminated soils // Environmental Science and Pollution Research. – 2024. – Vol. 32. – № 28. – P. 16601–16616.
6. Rani J., Kumari S., Paul B. Extraction and chemical characterization of humic acid produced from lignite coals of arid region of Gujarat, Western India // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – Art. 30923.
7. Ertem A., Karmaz E., Avag K., Peker R.M. Spectroscopic, thermic and metal binding properties of commercial humic acid and leonardite // Soil Studies. – 2024. – Vol. 13. – № 1. – P. 32–42.
8. Arekhi M., Terry L.G., Clement T.P. Environmental fate of petroleum biomarkers in Deepwater Horizon oil spill residues over the past 10 years // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 791. – Art. 148056.

ЗООГУМУС ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ (*HERMETIA ILLUCENS*) КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ЭКСТРАКЦИИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Лоскутов С.И., Пухальский Я.В.
ВНИИ пищевых добавок – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Санкт-Петербург
vniipakk55@mail.ru

Введение. Традиционное сырье для гуминовых препаратов (торф, бурые угли, сапропель) практически не возобновляется. При промышленном разведении личинок черной львинки *Hermetia illucens* образуется массовый побочный продукт – зоогумус, который нередко не находит применения и складируется на полигонах. Цель работы – оценить зоогумус как сырье для экстракции гуминовых веществ (ГВ) по литературным и собственным данным.

Объекты и методы исследований. Обобщены результаты наших опытов по водной, щелочной (KOH) и щелочно-пирофосфатной ($KOH + Na_4P_2O_7$) экстракции зоогумуса, а также литературные данные по составу водорастворимого органического вещества (ВОВ) зоогумуса, полученные методами УФ-спектроскопии, синхронной флуоресценции и спектров возбуждения–эмиссии (ВЭМ), по оптимизации щелочной экстракции с ^{13}C ЯМР-анализом экстракта и биотестированию вытяжек.

Обсуждение результатов. Исследования подтверждают соответствие экскрементов *H. illucens* стандартам качества, установленным для органических удобрений на основе отходов животноводства. Общее содержание элементов варьирует: от 0,8 до 5,1 % для азота, 0,8 до 2,5% для фосфора и от 0,2 до 4,1 % для калия, соответственно. Соотношение $N : P_2O_5 : K_2O$ в удобрении составляет примерно 1:0.9:1.1. Низкое соотношение C : N в экскрементах относительно исходного субстрата обеспечивает высокую доступность элементов питания для растений. По питательной ценности зоогумус сопоставим с аммиачной селитрой (NH_4NO_3) и может служить ее органической заменой. Продукт не аккумулирует токсичные металлы, микотоксины или инсектициды. Содержание органического вещества (до 84.9%) превышает таковое в навозе и традиционных компостах.

Гумификация при биоконверсии неполная: ее степень (доля областей III и V спектров ВЭМ в ВОВ) составляет 42–64 % для зоогумуса из навоза и 51–63 % – из мясокостной муки (МКМ). Состав ГВ зависит от корма: в зоогумусе из куриной МКМ преобладают фульвоподобные вещества (E_{250}/E_{365} = 5,27–6,35), из рыбной – гуминоподобные (≈ 3,5); в случае куриного помета доля фульвокислотной компоненты ВОВ достигает 48,8 %, гуминовой – 14,3 %.

На примере зоогумуса *Protaetia brevitarsis* оптимизированная экстракция (0,5 М KOH, Ж : Т = 3 : 1, 80 °C, 80 мин) дала экстракт с 46,8 г/л органического углерода, отвечающий нормативам КНР для водорастворимых гуминовых удобрений, включая тяжелые металлы. В наших опытах наиболее концентрированная вытяжка зоогумуса *H. illucens* (2,44 % сухого остатка) получена смесью KOH и $Na_4P_2O_7$; прорастание гороха и люпина сильнее всего стимулировали ее нейтрализованные (pH 6,7–6,8) растворы концентрацией 0,01–0,05 %, а не нейтрализованные (pH 9,7–11,2) с ростом концентрации его угнетали.

В работе вытяжка 1%-ным KOH стимулировала рост овса и пшеницы (оптимум 1 : 40–1 : 50), но до разведения 1 : 30 была фитотоксична для салата, что связывают с ее pH 7,8–8,3.

Ограничения связаны с незрелостью и составом сырья. Индекс прорастания семян редиса в вытяжках свежего зоогумуса составлял лишь 14–69 %, а в наших опытах некипяченая водная вытяжка угнетала прорастание гороха и вызывала брожение; дозревание (компостирование) зоогумуса снижает его фитотоксичность. Белковоподобные вещества и продукты микробного метаболизма (области I, II, IV) дают 37–49 % флуоресценции BOB; переходя в щелочной экстракт, они могут соосаждаться с гуминовыми кислотами (ГК) при подкислении. В экстракте зоогумуса *P. brevitarsis* около 69 % углерода приходилось на алкильные и метоксильные группы и лишь 12 % – на ароматические (в исходном зоогумусе – 45 %), что сближает такие экстракты с «молодыми» ГВ компостов, а не с ГК торфа и угля.

Выводы. Зоогумус *H. illucens* – возобновляемое сырье для жидких гуминовых препаратов с выраженной ростостимулирующей активностью; нерастворимый остаток после экстракции может использоваться как органическое удобрение. Экстракты, как правило, обогащены фульвоподобными и алифатическими компонентами, а их активность и безопасность определяются кормом личинок, зрелостью сырья и pH. Для стандартизации продукта необходимы фиксированный субстрат, дозревание зоогумуса, нейтрализация экстрактов, подтверждение природы ГВ (фракционирование по схеме IHSS, элементный анализ, ^{13}C ЯМР) и подбор доз с учетом чувствительности культур.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема FGUS-2024-0010).

СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА И РН ПОЧВ ГОРОДА КОКАНДА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОНАХ

Эргашева Н.А.
Кокандский государственный университет, Коканд, Узбекистан
nazokatochilova1@gmail.com

Введение. Гумус и реакция почвенной среды - ключевые показатели почвенно-экологического мониторинга городских территорий. Гумус отражает состояние почвенного органического вещества, а pH - условия протекания почвенных процессов. В функционально неоднородной городской среде их совместная оценка позволяет сопоставлять участки и обосновывать дифференцированный мониторинг. Цель исследования - оценить содержание гумуса и pH почв города Коканда и прилегающих территорий в зависимости от функциональной зоны и глубины.

Объекты и методы. С 58 парных площадок опробования из слоев 0-10 и 10-30 см, а также из одного опорного разреза было отобрано 123 почвенных образца. Образцы высушивали в прохладном месте до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито 1 мм. Исследования выполнены в Ферганском областном

агрохимическом аналитическом центре. Реакцию почвенной среды (pH) определяли потенциометрически в водной вытяжке с применением pH-электрода с KCl-электролитом на приборе Mettler Toledo; органическое вещество (гумус) определяли фотометрически по методу Тюрина в соответствии с ГОСТ 26213-2021. В парных выборках слои сопоставляли критерием Уилкоксона; связь pH и гумуса оценивали коэффициентом Спирмена. Опорный разрез (n=7) учитывали отдельно; зональный ряд включал промышленную (n=32), транспортную (n=14), центральную озелененную (n=36) и периферийную (n=34) зоны.

Результаты и обсуждение. Содержание гумуса варьировало от 0,30 до 4,40 %, в среднем составляя 2,03±0,86 %, при медиане 2,00 %; в 10 образцах оно было ниже 1,00 %. В распределении гумуса 58 образцов содержали более 2,00 %, 55 - от 1,00 до 2,00 %, остальные 10 - менее 1,00 %. pH изменялся от 6,16 до 8,45 при среднем значении 7,84±0,36 и медиане 7,89; в 119 из 123 образцов pH превышал 7,0. В интервале pH 7,00-7,99 находилось 77 образцов, при pH≥8,00 -43, а при pH<7,00 - 3. В опорном разрезе (n=7) средние значения pH и гумуса составили 7,90±0,27 и 1,10±0,42 % соответственно. На 58 парных площадках средние значения pH и гумуса в слое 0–10 см составили 7,87 и 2,15 %, а в слое 10–30 см - 7,81 и 2,03 %; разность средних равнялась 0,06 единицы pH и 0,12 процентного пункта по гумусу. По критерию Уилкоксона различия для pH (W=741,5; p=0,377) и гумуса (W=654,0; p=0,446) статистически незначимы. Ранговая связь между pH и гумусом в общей выборке не выявлена (ρs=-0,013; p=0,887). Средние значения гумуса по функциональным зонам составили 2,12±0,87 % в промышленной, 1,78±0,94 % в транспортной, 2,10±0,75 % в центральной озелененной и 2,17±0,88 % в периферийной зоне. Средние значения pH в тех же зонах равнялись 7,70; 7,90; 7,96 и 7,81 соответственно. Диапазоны pH в промышленной, транспортной, центральной озелененной и периферийной зонах составляли соответственно 6,16-8,37; 7,05–8,31; 7,16–8,45 и 6,98–8,28. Минимум гумуса (0,30 %) зафиксирован в транспортной, а максимум (4,40 %) - в периферийной зоне. Наименьший описательный средний уровень гумуса в транспортной зоне был на 0,39 процентного пункта ниже, чем в периферийной; в промышленной зоне диапазон гумуса составил 0,4-3,9 %. Среди 10 образцов с содержанием гумуса ниже 1,00 % три относились к транспортной зоне, два - к промышленной, по одному - к центральной и периферийной зонам, три - к опорному разрезу.

Выводы. В почвах города Коканда и прилегающих территорий преобладала щелочная направленность реакции среды. По исследованной выборке межслойные различия pH и гумуса не достигли статистической значимости, а статистически значимая монотонная связь между этими показателями не установлена. Вместе с тем описательная дифференциация средних значений гумуса между функциональными зонами сохранялась. Десять точек с содержанием гумуса ниже 1,00 % целесообразно выделить как приоритетные участки мониторинга состояния органического вещества почв. Наименьшее описательное среднее содержание гумуса в транспортной зоне (1,78 %) и широкий диапазон его значений в промышленной зоне подтверждают необходимость дифференцированного наблюдения этих территорий. При повторном обследовании следует сохранять исходные координаты, глубины и методы; источники нагрузки уточнять по многоэлементным геохимическим данным.

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА «ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРИМЕНЕНИЯ»

БИОТЕСТИРОВАНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ: ОТ СТАНДАРТНЫХ ПРОТОКОЛОВ К БИОЛОГИЧЕСКИ РЕЛЕВАНТНЫМ ОЦЕНКАМ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Терехова В.А.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
vterekhova@gmail.com

Во многих отраслях народного хозяйства биотестирование является ключевым инструментом интегральной оценки безопасности продуктов, измерения токсичности веществ или оценки стимулирующих эффектов для живых систем. Биотесты широко востребованы в медицине, сельском хозяйстве, химии и экотоксикологии. В иерархии прикладной экологии биотестирование, наряду с биоиндикацией, составляет основу биологической диагностики, которая является фундаментом экологического мониторинга, нормирования и экспертизы. Мировой арсенал включает более ста видов тест-организмов и более пяти тысяч тест-реакций, однако универсальных подходов не существует, а выбор метода всегда определяется конкретной задачей.

В России биотесты впервые законодательно внедрены в 1986 году для оценки сточных вод. На сегодняшний день существует широкий спектр аттестованных методик, зарегистрированных в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений. В протоколах биотестирования для измерения токсичности неизменно используются классические тест-системы, основанные на реакциях лабораторных культур гидробионтов, таких как рачки, инфузории, водоросли. Однако они не всегда учитывают специфику объектов. Например, для гуминовых препаратов, предлагаемых для почвоулучшения, тестов на гидробионтах недостаточно.

Релевантность получаемых результатов, то есть их соответствие реальной ситуации, зависит от множества факторов. К ним относятся пробоподготовка (соотношение твёрдой и жидкой фаз, тип экстрагента и фильтрация), биологические факторы (возраст и вид тест-культуры), методические условия (колебания температуры, света и pH), физико-химические свойства (летучесть или сорбция веществ). Значительную роль играет и человеческий фактор – квалификация специалистов и субъективизм визуального подсчёта, который снижается за счёт автоматизации учёта и строгого соблюдения паспортов культур. Для повышения объективности специализированные методики, адаптированные под особенности проб, должны быть приоритетными по сравнению с формальными стандартами. В лаборатории экотоксикологического анализа почв МГУ имени М.В. Ломоносова (ЛЭТАП МГУ, letap.msu@gmail.com) разработаны специализированные методические документы, учитывающие общие особенности тестируемого объекта, например степень минерализации

среды (ФР.1.39.2006.02505 / ПНД Ф 14.1:2.14-06 / 16.1:3.11-06; ФР.1.31.2024.48371).

Особую специфику имеет оценка гуминовых препаратов, которые могут оказывать и токсический, и стимулирующий эффект, выступать в роли ремедиантов почв. Для оценки их биологической активности разработана и аттестована специализированная методика фитотестирования, позволяющая проводить экспресс-определение фитоэффектов на проростках семян планшетным способом. Методика измерений биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования («Фитоскан») зарегистрирована в федеральном реестре (ФР.1.31.2012.11560). Методика даёт возможность подбирать действующие (эффективные) концентрации (ЭК50) препаратов как в жидкой форме, так и в твёрдой, оценивать их биологическую активность в почвах при реализации в так называемом аппликатном варианте тестирования.

Многие образовательные учреждения обучают теоретическим и практическим основам биотестирования как важнейшему этапу оценки качества техногенных объектов (отходов, гуминовых продуктов и т.п.). На факультете почвоведения МГУ реализуются программы дополнительного образования, на которых можно приобрести навыки работы с биотест-системами и стандартизованными тест-культурами. Программы («Технологии биотестирования в экологическом контроле природных и техногенных объектов», «Биотестирование в аккредитованной лаборатории: стандартизация тест-культур») предназначены не только для специалистов производственных лабораторий, но и для преподавателей вузов, аспирантов, молодых учёных, у которых есть потребность включать элементы этих программ в учебные курсы или проводить исследования методами биотестирования в своих текущих научных проектах (edusoilmsu@gmail.com, edusoilmsu@soil.msu.ru).

Использование батареи биотестов, подобранных под специфику материала, в сочетании с химическим анализом и биоиндикацией обеспечивает воспроизводимость, объективность и биологическую релевантность оценки эффективности гуминовых препаратов, что является основой повышения качества природоохранного контроля и восстановления почв.

ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ СМЕСЕЙ

Сутормин О. С.
Сургутский государственный университет, Сургут
sutormin_os@surgu.ru

Ферментативное тестирование позволяет оценивать совместное действие компонентов природных смесей на заданные биохимические реакции. При анализе почвенных вытяжек отклик определяется не только загрязнением, но и составом матрицы и условиями извлечения. Цель работы состоит в том, чтобы обобщить результаты применения ферментативных систем к почвам и обосновать их совместное использование с химическим анализом.

Сопоставлены опубликованные результаты для 51 условно чистого модельного почвенного образца и подзолистой почвы с внесением дизельного топлива 5-20 г/кг. Использовали бутирилхолинэстеразу, сопряженную систему НАДН:ФМН-оксидоредуктаза + бактериальная люцифераза и ее трехферментный вариант с лактатдегидрогеназой. Регистрировали скорость колориметрической реакции либо интенсивность биолюминесценции относительно контроля [1, 2]. Структуру и динамику белков исследовали в трех независимых молекулярно-динамических траекториях по 100 нс. Для химической характеристики извлекаемой нефтяной фракции применяли ИК-спектроскопию [3].

На условно чистых почвах активность бутирилхолинэстеразы составляла 95-155% контрольной, остаточное свечение биферментной системы составляло 49-103%, трехферментной системы составляло 22-100% [1]. Различия показывают зависимость отклика от состава каскада и почвенного фона. Растворимые компоненты органического вещества способны влиять на субстратное обеспечение сопряженных реакций, поэтому подавление свечения относительно воды само по себе не устанавливает наличие загрязнителя.

Для нефтезагрязненной почвы использовали 25%-ный водный диметилсульфоксид (ДМСО); после внесения вытяжки его объемная доля в реакции составляла около 9%. ДМСО улучшает извлечение гидрофобных компонентов, но сам влияет на свечение, что требует одинаковой концентрации растворителя в опыте и контроле. При нагрузке дизеля 20 г/кг подавление достигало примерно 70% относительно вытяжки незагрязненной почвы. В расчетных системах сохранялась общая компактность белков, однако уменьшалась подвижность функциональных участков люциферазы и изменялись водородные связи с растворителем. Это согласуется с возможным снижением эффективности катализа вследствие локальной перестройки гидратации и динамики без глобального разворачивания белка [2].

В отдельной серии ИК-анализ вытяжек почвы со свежевнесенной нефтью показал более выраженное различение нагрузок при экстракции 75%-ным водным ДМСО, чем водой. Следовой перенос ДМСО в анализируемую органическую фазу ограничивал прямую количественную интерпретацию полос C-H; метод характеризовал различия извлекаемой фракции на качественном и полуколичественном уровне [3].

Ферментативный отклик характеризует действие фракции, полученной заданной пробоподготовкой. Его интерпретация требует почвенного и растворительного контролей. Сопоставление химических показателей и биохимического действия на совпадающих пробах позволяет исследовать причины расхождения между остаточным содержанием нефтепродуктов и эффектом вытяжек.

Исследования нефтяного загрязнения выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 24-14-20030, https://rscf.ru/project/24-14-20030/.

Список использованной литературы

1. Kratasyuk V.A., Kolosova E. M. Software for Matching Standard Activity Enzyme Biosensors for Soil Pollution Analysis // Sensors. – 2021. – Vol. 21(3). – Art. 1017.
2. Sutormin O.S. Lonshakova-Mukina V. I., Deeva A.A. Dimethyl Sulfoxide as a Biocompatible Extractant for Enzymatic Bioluminescent Toxicity Assays:

Experimental Validation and Molecular Dynamics Insights // Toxics. – 2025. – Vol. 13(12). – Art. 1038.
3. Farrahova G.R., Tanykova N.G., Kolosova E.M. Reducing the Gap Between Chemical and Biological Assessment of Petroleum-Contaminated Soils: An FTIR-Based Method Using Aqueous Dimethyl Sulfoxide Extraction // Environments. – 2026. – Vol. 13 (3). – Art. 140.

РАДИОПРОТЕКТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ. БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МОНИТОРИНГ

Кудряшева Н.С.[1], Колесник О.В.[1], Жигарев А.А.[2], Федотова А.С.[2], Бадун Г.А.[3]
[1]Институт биофизики СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск
[2]ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, 660130, Красноярск
[3]Химический факультет МГУ, Ленинские горы, Москва
kudr@ibp.ru

Известно, что микроорганизмы почв и водных сред чувствительны к присутствию гуминовых веществ (ГВ), которые играют роль природных детоксикантов в окружающей среде. Мы изучали биоэффекты альфа- и бета-излучающих радионуклидов (америций-241, уран-(235+238), торий-232 и тритий) в присутствии ГВ в условиях малых доз облучения (<0,1 Гр). Светящиеся морские бактерии *Photobacterium phosphoreum* были использованы в качестве модельного одноклеточного микроорганизма для мониторинга токсичности и активирующей способности растворов радионуклидов. Биоэффекты радионуклидов сравнивали с биоэффектами солей тяжелых металлов (Ce, Sm, Gd, Eu).

Биолюминесцентный отклик морских бактерий на воздействие радионуклидов соответствовал модели “гормезиса”: он включал стадии ингибирования и активации биолюминесценции, а также отсутствие эффекта. Было показано, что ГВ снижают ингибирующее и активирующее действие радионуклидов на люминесценцию бактерий. В присутствии радионуклидов была обнаружена корреляция между интенсивностью биолюминесценции бактерий и содержанием активных форм кислорода (АФК).

Полученные результаты свидетельствуют о важной роли ГВ в естественных процессах в регионах с низким уровнем радиоактивного загрязнения: ГВ могут смягчать радиотоксическое воздействие и адаптивную реакцию микроорганизмов на низкодозовое облучение альфа- и бета-типа. Была продемонстрирована роль АФК в этих процессах.

Радиопротекторное действие ГВ было обнаружено и в организме животных более высокого уровня организации (сельскохозяйственных животных, кроликов) при низкодозовом облучении тритием: ГВ нейтрализовали токсическое действие тритиевой воды, приближая физиологический показатель (фагоцитарную активность лейкоцитов кроликов) к контрольному.

Полученные результаты могут послужить основой для прогнозирования реакции живых организмов на облучение на обширных территориях,

подвергшихся низкоинтенсивному радиационному воздействию в результате аварий, выбросов атомных электростанций или подземной добычи полезных ископаемых.

Работа была поддержана грантом Российского научного фонда № 26-16-20051, https://rscf.ru/project/26-16-20051/, грантом Красноярского краевого фонда науки.

ОТХОДЫ ЦБП КАК УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ МЕЛИОРАНТЫ: ОТКЛИК МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА РАЗЛИЧНЫХ СУБСТРАТОВ

Деревенец Е.Н., Кулачкова С.А., Терехова В.А., Якименко О.С.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
lizaderevenets@yandex.ru

Для решения проблемы использования отходов целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) целесообразно рассмотреть возможность их применения в растениеводстве и при ремедиации деградированных почв и земель. По литературным данным, внесение отходов ЦБП в качестве углеродсодержащих мелиорантов повышает содержание органического вещества и элементов питания, но величина и направление эффекта сильно зависят от вида отхода, дозы и типа почвы. При этом важно учитывать состояние микробного сообщества: положительным эффектом можно считать рост микробной биомассы без значительной стимуляции дыхания, то есть более эффективное использование углерода субстрата при его разложении. Оценка проводится по интенсивности базального дыхания (БД), количеству углерода микробной биомассы ($C_{мик}$) и метаболическому коэффициенту (QR). Устойчивость отклика к типу почвы (субстрата) при этом проверяется редко.

Цель работы – исследование влияния мульчирующих углеродсодержащих мелиорантов на активность микробного сообщества при их внесении в верхний слой различных почв и грунтов в вегетационных экспериментах с овсом в течение двух месяцев. Схема опыта: контроль (К), опилки (О), бумага (Б), лигносульфонат (ЛС), опилки, пропитанные лигносульфонатом (О+ЛС), бумага, пропитанная лигносульфонатом (Б+ЛС) в трех повторностях для четырех субстратов, различных по гранулометрическому составу, содержанию органического вещества и элементов питания растений: пахотный горизонт дерново-подзолистой почвы; глинистый грунт (морена); песчано-гравийный грунт (ПГС); и нефтезагрязненная почва (НЗП). БД, $C_{мик}$ и QR определялись в инкубационных экспериментах по выделению CO2 через 1 и 2 месяца от начала вегетационного опыта [1].При внесении непосредственно лигносульфоната в верхний слой почв и грунтов увеличивалась микробная биомасса без повышения уровня базального дыхания почв, за исключением НЗП. Это подтверждает данные об использовании ЛС (в дозе 6 г сухого вещества ЛС/кг почвы) микроорганизмами как нетоксичного и легкодоступного субстрата. Влияние ЛС на дыхание и QR зависело от субстрата: к концу 2-го месяца опыта QR снижался в дерново-подзолистой почве и глинистом субстрате, не менялся в ПГС (исключение: рост для Б и О+ЛС).

Реакция НЗП отличалась: при исходно высоком QR к концу опыта БД имело тенденцию к росту при отсутствии эффекта на $C_{мик}$. Это может отражать как активацию разложения нефтепродуктов, так и стресс сообщества (по имеющимся данным эти процессы различить нельзя, что требует дальнейшего изучения влияния данных мелиорантов в целях ремедиации).

Для остальных почв установлено, что исследуемые мелиоранты не оказали негативного эффекта, изменения QR относительно контроля незначительны и не превышают уровня 0,3, что говорит о слабом или отсутствующем нарушении устойчивости микробного сообщества. Отклик БД на опилки и бумагу, пропитанных и не пропитанных ЛС, также зависел от субстрата. Статистически значимых взаимодействий ЛС×О и ЛС×Б по БД и QR не обнаружено. В глинистом грунте бумага увеличила дыхание к 2-му месяцу. Для остальных субстратов пропитка бумаги и опилок лигносульфонатом оказала положительный эффект, заключающийся в росте микробной биомассы при незначительном изменении базального дыхания.

Исследование показало, что использование отходов ЦБП в качестве мульчирующих углеродсодержащих субстратов при выращивании овса не оказывает на микробное сообщество почв негативного воздействия, наоборот, стимулирует рост микробной биомассы (за исключением НЗП), для дерново-подзолистой почвы и ПГС – без снижения эффективности использования углеродного субстрата. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку влияния изучаемых субстратов на урожайность с/х культур, отдельно – на эффект на фоне загрязнения в целях ремедиации. Практические рекомендации необходимо определить отдельно для каждого субстрата.

Исследования выполнены в рамках проекта компании «Тайга групп».

Источники используемой литературы

1. Деревенец Е.Н., Кулачкова С.А., Манакова О.И. и др. Микробная продукция и эмиссия диоксида углерода почвами карбонового полигона «Чашниково» с различным потенциалом минерализации органического вещества // Вестн. Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение. – 2024. – Т. 79. – № 4. – С. 141–155.

ELEMENTAL COMPOSITION AND BIOGENIC POTENTIAL OF BROWN COAL-DERIVED FULVIC ACIDS: THE ROLE OF DEPOSIT AND DEGREE OF PURIFICATION

Efimova E.V., Rabtsevich E.S., Zykova M.V.
Siberian State Medical University, Tomsk, Russia
leno4ka140713@gmail.com

Introduction. Fulvic acids (FAs) extracted from coal are a promising class of natural compounds for the creation of new active substances due to their high biological activity, water solubility across a wide pH range, and complexing ability [1]. As

products of humification, FAs have a complex and variable composition. This work presents a comparative study of the elemental composition of unpurified and purified FA samples isolated from brown coals of two deposits.

Materials and Methods. The objects of study were four FA samples produced by Genesis LLC (Novosibirsk): the unpurified brown coal FA from the Stepanovskoye deposit (Krasnoyarsk Krai, FA-1), the purified fraction of FA-1 (FA-2); the unpurified brown coal FA from the Yantarskoye deposit (Krasnoyarsk Krai, FA-3), and the purified fraction of FA-3 (FA-4). The elemental composition was determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, Agilent 7500cx, Agilent Technologies, USA).

Results and Discussion. The macroelement composition of all samples included Ca, Na, Fe, Mg, K, and Al. However, their relative proportions depended on the deposit. In FA-1 and FA-2, Ca (>5%), Na (19.726 and 7.705 ppm), and Fe (12.130 and 167.247 ppm) were dominant, whereas in FA-3 and FA-4, Ca (>5%), Fe (16.876 and 99.324 ppm), and Mg (6.370 and 50.914 ppm) prevailed, indicating the geochemical specificity of the initial raw material. Purification led to a significant increase in the content of Fe (13.8-fold for FA-2 and 5.9-fold for FA-4) and Mg (12.7-fold and 8.0-fold, respectively), likely due to the concentration of metal-organic complexes.

Among the microelements (10–1000 ppm), Mn (697.6), Ba (158.4), Sr (143.6), Zn (42.5), Cu (41.5), Ag (29.6), and B (12.1) were identified in FA-1. In FA-3, Ba (536.5), Sr (316.0), Mn (330.9), Zn (39.3), Cu (34.2), Ag (9.96), and B (15.2) were identified. Notably, the Sr and Ba contents were higher in FA-3 compared to FA-1 (315.99 vs. 143.57 ppm for Sr, and 536.5 vs. 158.4 ppm for Ba), which correlates with the increased cation exchange capacity of coals from the Yantarskoye deposit. Essential biogenic elements (Zn, Cu, Mn, B, Mo, Co) were present in all samples, confirming their physiological significance. Purification significantly altered their distribution: the Mn content increased in FA-2 by 8.5 times (from 697.6 to 5936.8 ppm), and Co by 16.5 times (from 1.46 to 24.0 ppm); an increase in Mn content was also observed in FA-4 (from 330.9 to 353.4 ppm) and Co (from 3.95 to 20.8 ppm). This indicates the different stability of metal-fulvate complexes depending on the nature of the coal. Analysis of minor and ultra-trace elements showed that purification led to an increase in the content of rare earth elements in FA-2 (La from 0.006 to 2.45 ppm; Ce from 0.085 to 3.28 ppm), whereas in FA-4, their content remained moderate (La 2.15 ppm; Ce 2.41 ppm). At the same time, elements such as Rb, Sr, and Ba were concentrated in the purified fractions of both deposits, indicating their strong affinity for the fulvate matrix. Conversely, the Mo content decreased in FA-4 (from 0.80 to 0.79 ppm) and remained high in FA-2 (20.67 ppm), which may be associated with differences in medium acidity and redox conditions.

Conclusions. The type of brown coal raw material determines both the overall elemental diversity and the specific distribution of biogenic metals. Purification does not lead to element loss; rather, it contributes to the concentration of several microelements within the highly purified fractions, thereby enhancing their biogenic potential.

References

1. Zykova M.V., Trofimova E.S., Azarkina L.A., Lasukova T.V., Mihalyov D.A., Drygunova L.A., Danilets M.G., Ligacheva A.A., Tsupko A.V., Bashirov S.R., Belousov M.V. Pharmacological effects of humic substances and their signaling mechanisms // Molecules. – 2026. – Vol. 31(1). – P. 114.

ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СВЯЗЫВАНИЯ, КАТАЛИЗИРУЕМЫХ ЛАККАЗОЙ, НА СОРБЦИЮ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ГЛИНИСТЫМИ МИНЕРАЛАМИ

Навой Е.А, Заварзина А.Г.
Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва
lenanavoy@mail.ru

Органическое вещество почв (ПОВ) играет ключевую роль в глобальном цикле углерода и плодородии почв. Накопление ПОВ обеспечивается процессами гумификации и органо-минеральными взаимодействиями. Сорбция на минеральных частицах, снижающая доступность ПОВ организмам-деструкторам, считается в настоящее время ведущим фактором стабилизации ПОВ. Однако, современные модели адсорбционной стабилизации углерода, как правило, не учитывают протекающих в почвах реакций окислительной полимеризации или окислительного связывания, которые лежат в основе классической конденсационной теории гумификации. Вклад этих реакций в формирование ПОВ остается предметом дискуссий. Лакказа является одним из наиболее распространенных катализаторов окислительных реакций в почвах. Фермент продуцируется грибами и бактериями и окисляет фенольные субстраты и ароматические амины молекулярным кислородом. Образующиеся феноксильные радикалы и хиноны подвергаются спонтанной конденсации. Показано, что лакказа усиливает связывание фенольных кислот минералами в 2-3 раза. Роль фермента в сорбции гуминовых кислот (ГК) не изучена, что составляет новизну и актуальность работ в этой области.

Целью работы является выявление роли свободнорадикальных реакций, катализируемых ферментом лакказой, в процессах связывания ГК минеральными компонентами почв.

Объектами исследования служили препарат ГК дерново-подзолистой почвы; глинистые минералы в К-форме каолинит и иллит; препарат лакказы почвенного базидиомицета *Coprinus comatus*. Сорбцию ГК на минералах изучали методом равновесных состояний при pH 4.0 и 4.5 и ионной силе 0,01 (KCl) в присутствие и отсутствие лакказы. Лакказу предварительно иммобилизовали на минералах путем сорбции из раствора 0,01 М KCl. Эффективность иммобилизации и активность связанного фермента определяли с субстратом АБТС. Влияние лакказы на связывание ГК минералами изучали по убыли Сорг из равновесного раствора (TOC анализатор). Также изучали изменение молекулярно-массовых распределений ГК методом гель-фильтрации на Сефадексе G-75. Контролем служили реакционные смеси минерал-ГК без лакказы или ГК-лакказа без минерала.

Различий в сорбции ГК на каолините при pH 4.0 и 4.5 не обнаружено, что связано с преобладанием гидрофобных взаимодействий как ведущего механизма стабилизации ГК на этом минерале. На иллите сорбция не зависела от pH в области низких концентраций ГК, тогда как при повышении концентрации ГК сорбция увеличивается примерно в 1,5 раза при снижении pH с 4,5 до 4,0, что

связано с уменьшением электростатического отталкивания ГК от отрицательно заряженной поверхности минерала. Максимальная сорбционная ёмкость иллита по отношению к ГК была в 5–6 раз выше, чем у каолинита, что обусловлено большей удельной поверхностью минерала. Однако, плотность заполнения поверхности в расчёте на квадратный метр была в 2–2,8 раза выше у каолинита. При иммобилизации лакказы на минералах активность фермента существенно снижалась: на каолините сохранялось около 30% исходной активности, на иллите – лишь около 10%. Потеря активности связана с конформационными изменениями белка при сорбции.

Лакказа усиливала связывание ГК, причём влияние фермента возрастало с увеличением степени насыщения минерала органическим веществом. В области максимальной сорбции (при внесении 80 мг ГК/г минерала) присутствие лакказы увеличивало связывание ГК минералами в 1,2 раза. При изучении влияния концентрации раствора ГК на сорбцию в присутствии лакказы установлено, что влияние фермента усиливалось при снижении концентрации ГК от 0,4 до 0,04 мг/мл (общее количество ГК, добавленных к минералу, было при этом одинаковым) и снижении pH от 4.5 до 4.0. На каолините статистически значимые различия в сорбции в присутствии и отсутствии лакказы установлены только при низкой концентрации ГК и pH 4,0. Установлено, что при взаимодействии с иллитом наблюдается снижение как высоко-, так и низкомолекулярных фракций ГК, в присутствии лакказы убыль высокомолекулярной фракции выше, чем в контроле без фермента. На каолините эти эффекты выражены слабее.

Таким образом, показана важная роль фенолоксидаз в связывании высокомолекулярных компонентов ПОВ минералами, что вносит существенный вклад в понимание роли ферментативных процессов в секвестрации CO_2 и стабилизации ПОВ.

Работа выполнена в рамках Госзадания 121040800154-8.

ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА И ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЛИГНИНА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ КАРСКОГО МОРЯ

Пушкарева Е.М., Беляев Н.А.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
kate-mp@mail.ru

Введение. Исследование содержания гуминовых веществ (ГВ) в почвах является общепринятым методом анализа и широко используется для характеристики органического вещества (ОВ). Для донных осадков (ДО) данный вид исследований распространен сравнительно мало. При этом для шельфовых морей Российской Арктики изучение ГВ представляет особый интерес вследствие значительных объемов поступления терригенного ОВ с речным стоком. Содержание ГВ в ДО Карского моря до настоящего времени не определялось, при этом имеются отдельные данные об их значительных концентрациях в осадках других шельфовых морей. Таким образом, целью данной работы является

выявление вклада ГВ в формирование состава ОВ донных осадков Карского моря. Известно, что в биогеохимических циклах ОВ в океане ГВ могут быть тесно связаны с лигнином. Он является одним из предшественников гуминовых веществ, которые могут образовываться в результате его деструкции и последующих преобразований. Выявление возможной связи между концентрациями ГВ и фенольных соединений лигнина, а также их влияние на формирование состава ОВ донных осадков могут дополнить понимание механизмов транспорта и захоронения терригенного вещества в бассейне моря.

Объекты и методы исследований. Основой для исследования послужила коллекция поверхностного слоя донных осадков, охватывающая практически все районы Карского моря, собранная в ходе выполнения программы «Экосистемы морей Сибирской Арктики». Содержание ГВ определено в 166 пробах, а фенольных соединений лигнина (ФЛ) – в 99 пробах ДО, отобранных на 90 станциях. Для анализа гуминовых веществ использовали усовершенствованный метод, основанный на исчерпывающей щелочной экстракции с последующим определением концентрации углерода ГВ (гуминовых (ГК) и фульвовых (ФК) кислот) в водных растворах на анализаторе углерода Shimadzu TOC. Фенольные соединения лигнина определяли методом газовой хроматографии после CuO-окисления.

Обсуждение результатов. В исследованных образцах ДО среднее содержание гуминовых веществ составило 6.8 мгС/г сухого осадка (от 1.3 до 46.6 мгС/г). Гуминовые вещества вносят существенный вклад в состав ОВ донных осадков: их доля в составе органического углерода ($C_{орг.}$) – в среднем 50.9%$C_{орг.}$ (от 6.7 до 100%$C_{орг.}$). Для большинства проб выявлена устойчивая прямая корреляционная зависимость содержания ГВ с $C_{орг}$, при этом в подстилающем горизонте эта зависимость выражена лучше, чем в поверхностном. Средняя доля ГВ в поверхностном горизонте (47.3%$C_{орг.}$) ниже, чем в подстилающем (54.9%$C_{орг.}$). Выявленная зависимость нарушается в сторону относительного повышения доли ГВ в составе $C_{орг.}$ в эстуарных районах Оби и Енисея, а в сторону уменьшения - вблизи восточного побережья арх. Новая Земля. В составе ГВ доминируют фульвокислоты: содержание ФК превышает содержание ГК в 85% проб. Максимальные концентрации ГК отмечены в эстуарных районах (до 17.4 мгС/г).

Среднее содержание фенольных соединений лигнина составило 211 мкг/г (от 1 до 1580 мкг/г). Доля лигнина в составе $C_{орг.}$ изменялась от 0.02 до 14 %, составляя в среднем 1.2 %. Связь ФЛ с органическим углеродом не выявлена, также отмечается возрастание их относительных концентраций в поверхностном горизонте. Таким образом, распределение лигнина кардинально отличается от распределения гуминовых веществ. Состав фенольных соединений лигнина исследованного региона различается слабо, в основном доминируют ванилиновые и сиреневые структуры. Коричных структур практически не наблюдается.

Выводы. Впервые установлено, что ГВ вносят преимущественный вклад в состав ОВ донных осадков Карского моря, тогда как вклад ФЛ значительно ниже. Для ГВ установлена прямая связь их содержания с $C_{орг.}$, для фенольных соединений лигнина такая зависимость отсутствует. Выраженной связи между содержанием гуминовых веществ и ФЛ в исследованных пробах не обнаружено, несмотря на предполагаемую роль лигнина как одного из предшественнико ГВ.

ГУМИНОВЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА ДЛЯ ФОЛИАРНОЙ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ

Тришкин Г.Н., Чернышева М.Г., Куликова Н.А., Михеев И.В.,
Чермашенцев Г.Р., Максимов С.В., Бадун Г.А.
МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва
trishkin.gleb1@gmail.com

Фолиарное внесение элементов питания в форме наночастиц (НЧ) является перспективным подходом для повышения эффективности удобрений и снижения их расхода. НЧ ZnO особенно важны для агрохимии, поскольку сам цинк является незаменимым микроэлементом, положительно влияющим на устойчивость растений в различных стрессовых условиях, а его оксидная форма характеризуется высоким массовым содержанием металла в своем составе (80%). Органическое покрытие из гуминовых кислот (ГК), обладающих поверхностно-активными свойствами, вероятно, изменит структурные, морфологические, коллоидные и оптические характеристики НЧ ZnO, что, возможно, повлияет на процессы поступления и распределения цинка в растениях.

Цель настоящей работы заключалась в оценке влияния ГК на физико-химические свойства НЧ ZnO и поступление цинка в листья пшеницы при фолиарной обработке.

Для достижения поставленной цели методом щелочного осаждения из $Zn(OAc)_2$ синтезировали НЧ ZnO в среде ГК (*ZnO-ГК*) (в качестве гуминового материала использовали препарат гумата натрия «Сахалинский» российского производства) и без них (*ZnO*). Полученные НЧ охарактеризовали с применением методов рентгенофазового анализа (РФА), инфракрасной (ИК) спектроскопии, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), динамического и электрофоретического светорассеяния (ДСР и ЭСР, соответственно) и спектрофотометрии (СФ). Затем провели эксперименты с растениями: листья проростков пшеницы обработали суспензиями с pH 5 и 8, содержащими либо НЧ *ZnO-ГК*, либо НЧ *ZnO* как с добавкой ГК, так и без нее (для НЧ *ZnO* без ГК – только при pH 8), а также раствором коммерчески доступного удобрения «Ультрамаг Хелат Цинка» с pH 6; после 24 ч выдержки растения высушили, отдельные части растений растворили в азотной кислоте, после чего полученные растворы проанализировали на содержание цинка с использованием метода атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

По результатам экспериментов установлено, что при синтезе НЧ ГК химически связываются с ZnO: изменения полос карбоксильных и карбоксилатных групп в ИК-спектрах подтверждают участие данных групп в химическом взаимодействии. По данным РФА, ZnO в обоих исследуемых образцах сохраняет структуру вюрцита. При этом синтез в среде ГК сопровождается уменьшением среднего размера кристаллитов ZnO с 20 ± 1 до 11 ± 1 нм. Дополнительно в образце *ZnO-ГК* обнаружена фаза $Zn(OH)_2$. ПЭМ-анализ показал, что синтез в среде ГК приводит к образованию частиц пластинчатой формы. По данным ДСР, НЧ *ZnO-ГК* и *ZnO* склонны к агрегации, при этом в водной среде при нейтральном pH средний гидродинамический диаметр НЧ *ZnO-*

ГК меньше, чем для НЧ *ZnO*. Результаты ЭСР демонстрируют изменение ζ-потенциала частиц от +29 (СКО = 9) до −31 (СКО = 5) мВ при переходе от НЧ *ZnO* к *ZnO-ГК*. Данные СФ для НЧ *ZnO-ГК* указывают на смещение максимума поглощения в сторону более коротких длин волн с 371 до 351 нм.

Эксперименты по поглощению цинка листьями проростков пшеницы показали, что в исследуемых условиях НЧ *ZnO-ГК* являются конкурентоспособными по отношению к коммерчески доступному удобрению «Ультрамаг Хелат Цинка». Накопление цинка при обработке растений НЧ *ZnO-ГК* зависит от pH, при этом кислые условия среды благоприятствуют этому процессу. При обработке растений суспензией НЧ *ZnO-ГК* при pH 5 содержание цинка в листьях, не контактировавших со средой, составляет 123 ± 3 мг/кг сухой массы против 74 ± 3 мг/кг в случае обработки суспензией того же образца при pH 8 и 78 ± 10 мг/кг для контрольного образца (без обработки растений). При этом статистически значимого различия между вариантами *ZnO-ГК* при pH 5 и коммерческим хелатом цинка не выявлено.

Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют о том, что в условиях ведения устойчивого сельского хозяйства гуминовые композиты на основе НЧ ZnO являются перспективной основой для создания и дальнейшего исследования цинковых удобрений для фолиарной обработки.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда
(проект № 25-23-00845).

STUDY OF SILVER NANOPARTICLE–HUMIC SUBSTANCE COMPOSITES FOR REDUCING NANOTOXICITY AND ENABLING NATURE-INSPIRED APPLICATIONS

Zhang S., Matorin D.N., Perminova I.V.
Lomonosov Moscow State University, Moscow
zhangsimeng@mail.ru

With the rapid development of nanotechnology, nano-materials, especially silver nanoparticles (AgNPs), are widely used in medical, environmental protection, electronics, agriculture and other fields because of their unique physical and chemical characteristics. However, the persistence and biocompatibility of silver nanoparticles in the environment have aroused widespread concern, especially their potential nano-toxicity. Nanotoxicity refers to the toxic effect of nanomaterials on organisms in vivo or in the environment. In order to reduce the possible negative effects of silver nanoparticles, researchers began to explore how to reduce or eliminate the toxicity of silver nanoparticles by compounding other natural organic substances, among which Humic substances, HS), as a natural organic substance, have become a composite material of great concern because of its excellent adsorption and environmental friendliness.

The toxicity of silver nano particles mainly comes from its osmotic effect on cells, oxidative stress response, and interaction with biological molecules (such as proteins,

DNA, etc.).These effects may lead to cell damage, immune system disorders, and even apoptosis or genetic mutations.In order to reduce the toxicity of silver nano-particles, scientists have begun to study ways to make the behavior of silver nano-particles more gentle and environmentally friendly through chemical modification or physical compounding.

Humus is a class of organic substances that naturally exist in soil, sediments and water bodies. It is a complex substance formed by the long-term decomposition and transformation of plant and animal residues under the action of microorganisms.Humus not only has a strong adsorption capacity, it can also form complexes with metal ions and other harmful substances, changing its chemical and biological behavior. The goal of this work was to reduce toxicity of silver nanoparticles with a use of humic macroligands.

Materials:$AgNO_3$, NaOH, and sodium humate (Powhumus/CHP, Humintech GmbH, leonardite-derived) were used as received. CHP acted as both reductant and capping macroligand. Solutions prepared in deionized water (18 MΩ·cm); glassware acid-washed.

Microwave synthesis and concentration gradient:CHP-Ag composites synthesized via microwave-assisted one-pot method: $AgNO_3$ added dropwise to CHP/NaOH (pH 11), irradiated under stirring, no external reductants/surfactants. A systematic precursor concentration gradient (varied CHP/$AgNO_3$ feed ratios) was employed to elucidate concentration effects under microwave fields.

Drying Optimization: Three methods compared for solid recovery: (1) Freeze-drying (−25 ℃, 24 h) → aggregation/instability; (2) Rotary evaporation (40 ℃, 150 mbar) → severe sintering; (3) Combined rotary evaporation–freeze-drying (concentrated to 50% vol. then lyophilized). Method 3 selected (TEM-verified): preserved primary AgNP size, humic conformation, and redispersibility.

Characterization:UV-Vis (Cary 50, 200–800 nm): SPR peak analysis for size/dispersity/coating. TEM: direct morphology/dispersion validation of dried/redispersed samples.

Ecotoxicity (Two Trophic Levels): optimized dried samples redispersed for: algae (Chlorella): chlorophyll fluorescence (F0, Fv/Fm) for photosynthetic stress/vitality.Terrestrial plant (Allium cepa): Root elongation & biomass for terrestrial risk.

The obtained results display that natural humic substances (Powhumus, CHP) act as green macroligands enabling reagent-free in situ microwave-assisted synthesis of AgNP–CHP composites, with precursor concentration gradient as the critical parameter tuning particle size, dispersity and toxicity. For solid sample recovery, the combined rotary evaporation–freeze-drying protocol (50% volume pre-concentration prior to lyophilization) outperforms standalone freeze-drying or rotary evaporation, preserving humic conformation and primary AgNP size to yield homogeneous, redispersible powders, as validated by TEM. Two-trophic-level ecotoxicity assays confirm humic encapsulation passivates AgNP surface reactivity, suppressing nano-specific toxicity pathways (oxidative stress, excessive Ag^+ release) to reduce ecological risk: CHP-Ag composites mitigate Photosystem II inhibition in algal tests (higher Fv/Fm) and show significantly lower inhibition of root elongation and biomass in Allium cepa than bare AgNPs. Further studies will elucidate phase composition and molecular interactions in

the humic matrix to guide the design of eco-safe AgNPs for environmental and agricultural applications.

Acknowledgements. This research was carried out within the framework of the state task “Ecology” (CITIS no. 122040600057-3).

ПРИМЕНЕНИЕ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Шепелев Р.С., Грехова И.В.
Тюменский государственный университет, Тюмень
grehova-rostok@mail.ru

В современных условиях развития сельского хозяйства одними из основных задач являются улучшение плодородия почв, обеспечение экологической безопасности, снижение себестоимости производства и получение экологически чистой продукции. В решении этих задач немалую роль играют гуминовые кислоты и препараты на их основе. Гуминовые препараты оказывают стимулирующее действие на все фазы развития растений, ускоряют прорастание семян, усиливают фотосинтез и повышают устойчивость к стрессовым факторам (засуха, заморозки, болезни, пестицидные обработки). Применение гуминовых препаратов позволяет увеличить урожайность, улучшить качество сельскохозяйственной продукции и обеспечить экологическую безопасность. Гуминовые кислоты являются природными веществами и не наносят вреда окружающей среде.

Гуминовый препарат Росток, выпускаемый в г. Тюмени, в многочисленных полевых и производственных опытах продемонстрировал высокую эффективность применения на всех культурах. Он повышал всхожесть семян, стимулировал развитие корневой системы, увеличивал показатели структуры урожая, снижал развитие и распространение болезней, устранял негативное действие стрессов. В технологии производства гуминового препарата Росток разделяют гуминовые и фульвовые кислоты с помощью серной кислоты. Затем гуминовые кислоты отмывают от сульфат-ионов. Для создания новых препаратов решили использовать гуминовые кислоты с содержанием сульфат-ионов. Подвижная доступная сера – сульфаты, которые могут усваиваться растениями. Сера входит в состав белка, содержится в аминокислотах (цистин, цистеин, метионин), растительных маслах и витаминах. Она влияет на рост и функции корневой системы растений, процессы дыхания, фотосинтеза, ассимиляции азота, использование растениями основных элементов питания из почвы и удобрений. При недостатке серы у растений снижается синтез белка и ухудшается качество продукции. Содержание серы в большинстве почв России находится на критическом уровне – среднее содержание не превышает 6,0 мг/кг почвы, поэтому разработка серосодержащих удобрений на гуминовой основе актуальна.

Цель исследований – выявление эффективного состава гуминового препарата с содержанием серы для возделывания культурных растений.

Реакцию растений на различные компоненты гуминового препарата устанавливали фитотестированием. Использовали лабораторный вид тестирования – проращивание в чашках Петри, что позволяет в короткие сроки установить влияние препаратов на рост и развитие растений. В качестве тест-культуры была взята яровая пшеница. Эта культура хорошо реагирует на удобрения, поэтому она подходит для тестирования состава препаратов. Для препаратов приготовили основу из осадочного раствора гуминовых кислот с содержанием серы в виде сульфат-ионов. Концентрация гуминовых кислот 1,0%. Рабочие растворы препаратов готовили 0,001% концентрации (1 мл/л). В чашки Петри укладывали фильтровальную бумагу и наливали по 12 мл рабочих растворов, контроль – 12 мл воды. Семена яровой пшеницы раскладывали по 15 шт. на чашку Петри. Повторность – 3-х кратная. Биометрические замеры проводили на 5 сутки: число корней, длина корней, длина ростка, масса проростков. Замеряли длину каждого корня. Суммировали длину всех корней проростка, сумму делили на число корней, находили среднюю длину одного корня. Взвешивали все проростки, находящиеся в чашке Петри, затем массу делили на число проростков и определяли массу одного проростка.

В течение двух месяцев был изучен 31 состав гуминовых препаратов с разными компонентами и дозами. В гуминовую основу вводились иодид калия, молибдат аммония, метаборат калия, карбамид, монокалий фосфат, микроудобрения: Аквамикс, сульфат цинка, сульфат меди. Изучались разные сочетания и дозы компонентов. Фитотестированием были установлены эффективные составы препаратов. Результаты фитотестирования использованы при приготовлении гуминовых препаратов для испытаний в полевых условиях на разных культурах. Полевые опыты подтвердили результаты фитотестирования. Таким образом, такой метод пригоден для быстрого предварительного установления эффективности действия препаратов на растения.

СРАВНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОТКЛИКОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ФИТОТЕСТИРОВАНИИ ПОЧВ РАЗНОЙ ГУМУСИРОВАНОСТИ

Шулаков А.Ю., Сериков К.П., Дубровина А.В.
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
e-mail: a.shulakov2007@mail.ru

Тест-параметрами при хроническом фитотестировании, как правило, служат ростовые характеристики двудольных и однодольных растений. Чаще всего в качестве тест-растений используют овёс посевной (*Avena sativa* L.), горчицу белую (*Sinapis alba* L.), репу (*Brassica rapa* L.), редис посевной (*Raphanus sativus* L.). При этом разные ростовые показатели могут давать неодинаковые отклики, и выбор информативных (стабильных и репрезентативных) показателей зачастую представляет собой проблему. Актуальным представляется выявление такого показателя, который позволяет дифференцированно оценивать действие факторов в почвах с разными характеристиками.

В данной работе мы сравнили отклики вегетативных (как надземных – стеблей, так и подземных – корней) и генеративных (семян) органов при выращивании растений на двух почвах, загрязненных отходами. Задача эксперимента заключалась в выборе информативного тест-показателя для оценки безопасности промышленных отходов для растений.

В качестве субстратов для фитотестирования были выбраны верхний пахотный (Апах) и нижний (В) горизонты дерново-подзолистой почвы. Содержание органического углерода в верхнем горизонте составило 1,9 %, pH – 6,25; в нижнем горизонте содержание органического углерода – 0,25 %, pH – 5,44. Метод исследования – хронический вегетационный эксперимент в сосудах на открытом воздухе в течение двух с половиной месяцев.

В качестве факторов воздействия на развитие высших растений использовали отходы целлюлозно-бумажных производств (древесную щепу, бумажные отходы, раствор лигносульфоната). В качестве тест-растения использовали овёс посевной (*Avena sativa* L.). Каждый вариант был заложен в трёх повторностях. В конце эксперимента измеряли три параметра: биомассу корней, биомассу надземной части и массу 1000 зёрен. По полученным данным рассчитывали среднее значение по повторностям и стандартное отклонение. Затем для сравнения тест-показателей между собой рассчитывали коэффициент вариации (CV) отдельно для каждого экспериментального варианта на каждой почве. Полученные значения CV, в свою очередь, усредняли по каждому из тест-показателей.

По итогам эксперимента усредненный CV по всем вариантам для показателя массы корней составил 25,4%, для массы стеблей – 16,1%, для массы 1000 зёрен – 7,9%. При этом стандартное отклонение (SD) CV составило для корней – 14,5; для стеблей – 11,2; для зёрен – 5,1. Среднее значение CV массы корней для верхнего и нижнего горизонта в отдельности оставило соответственно 21,0% и 29,9%, для массы стеблей – 14,9% и 17,4%, для массы 1000 зёрен – 8,0% и 7,9%.

Таким образом можно сделать вывод о том, что значение массы 1000 зёрен служит более точным и надёжным показателем биологического отклика так как в среднем имеет более низкий коэффициент вариации и более низкий разброс значений коэффициента в различных вариантах.

Важно отметить, что значение массы 1000 зёрен также и более стабильный показатель, так как его значения мало отличаются в почвах разной гумусированности, тогда как показатели массы стеблей и корней становятся более вариабельными в почве с низким содержанием органического углерода. Для полной оценки репрезентатиности тест-показателя планируется дополнительно оценить чувствительность показателя к внесению отходов.

ГУМАТ-СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ФЕРРИГИДРИТ КАК УДОБРЕНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ЖЕЛЕЗНОГО ХЛОРОЗА

Гаркуша Д.И., Щуринов Я.С., Чебышева Т.С., Чебышев К.А.
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь
kovaleva3421@mail.ru

Проблема железного хлороза на карбонатных и щелочных почвах носит массовый характер в ключевых аграрных регионах на юге России. При высоком pH и наличии карбонатов в почве даже внесённое в виде хелатов железо быстро переходит в недоступные для растений формы. По оценкам, потери урожая при сильном развитии хлороза могут достигать 11-24% от валового сбора.

При этом существующие решения имеют серьёзные недостатки. Дешёвый сульфат железа на щелочных почвах практически неэффективен, поскольку железо осаждается в течение 3–7 дней. Импортные синтетические хелаты, такие как Fe-Eапрьсяемото, эффективны, но их стоимость в России достигает 1000–1200 рублей за килограмм, а стоимость внесения на гектар – от 8 до 16 тысяч рублей. Кроме того, EDTA и EDDHA являются стойкими загрязнителями, накапливаются в почве и грунтовых водах. Таким образом, зависимость от импортных дорогостоящих хелатов создаёт серьёзные экономические риски и угрожает продовольственной безопасности.

В настоящей работе была отработана методика получения фульватногуматного комплекса стабилизированного ферригидрита с содержанием железа 20%. Для синтеза была получена щелочная вытяжка гуминовых веществ. К навеске сухого кислого торфа добавляли 0.1 М КОН в соотношении твердое:жидкость = 1:10 и перемешивали в течении 12-16 ч при комнатной температуре и минимальным контактом с воздухом. Затем осадок фильтровали через плотный фильтр и повторно экстрагировали 0.1 М КОН. Полученные вытяжки объединяли.

Осаждение гуминовых кислот проводили серной кислотой. Щелочной экстракт подкисляли до pH 1.0–1.5, перемешивали и оставляли на 12-16 ч для полного осаждения гуминовых кислот. Полученный осадок фильтровали для разделения фульватной и гуматной фракций. В фильтрате, содержащем фульвокислоты, растворяли навеску $Fe(NO_3)_3$ и при интенсивном перемешивании медленно добавляли раствор гумата калия, для этого навеску сухого осадка гуматной фракции растворяли в 0.5 М КОН. Полученную суспензию выдерживали 30-60 минут при pH 7.0 и оставляли на 8 часов для созревания. Полученный осадок гумат-стабилизированного ферригидрита промывали водой и сушили при температуре не выше 35-40˚С.

Содержание железа в продукте определяли фотометрически с сульфосалициловой кислотой. Результаты свидетельствуют о преимущественном осаждении железа из раствора при одностадийном сливании гуматного и фульватножелезного растворов. По данным рентгенофазового анализа полученный продукт после сушки не содержал железосодержащих кристаллических фаз. Применение гуматнофульватного комплекса железа позволяет предотвратить индуцированный хлороз саженцев винограда в горшочной культуре, что подтверждает биодоступность железа в данной форме.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Aitbayev T.E. 157
Azarkina L.A. 25, 148, 197
Belousov M.V. 25, 152, 197
Buyko E.E. 25, 152
Danilets M.G. 147, 197
Efimova E.V. 196
Ivanov V.V. 25, 152
Karpova A.E. 72
Karpova M.R. 152
Kashaganova K.T. 157
Krivoshchekov S.V. 147
Lasareva E.V. 126, 127
Lasukova T.V. 25, 197
Ligacheva A.A. 147, 197
Matorin D.N. 67, 202
Mikhalev D.A. 25, 147, 152
Minko A.M. 25, 152
Parfenova A.M. 126, 127
Pershina A.V. 147
Protasov A.A. 71
Rabtsevich E.S. 196
Shoinbekova S.A. 157
Shunkova D.M. 152
Skripkina T.S. 37, 71, 73
Trofimova E.S. 26, 147, 148, 197
Udut E.V. 25
Zaborova O.V. 126
Zhang S. 202
Zhilkibayev O.T. 157
Zhirkova A.M. 25, 26, 152, 163
Zykova M.V. 25, 26, 147, 148, 152, 196, 197
Абакумов Е.В. 19, 40, 55, 61, 94, 111, 135
Абу Дийак И.Т. 73
Агапова С.Е. 93
Акишина М.М. 119
Ануфриева Е.В. 90, 91
Апарин Б.Ф. 30, 32, 53, 62
Аржанова С.Э. 58
Артемов Д.А. 176
Артюхов Е.А. 111
Бадун Г.А. 194, 201
Бажина Н.Л. 96, 98
Байбулатов Р.Я. 69
Балданов Н.Д. 140
Барбашев А.И. 160
Бауэр Т.В. 24
Безуглова О.С. 144, 182, 184
Белоконова Н.А. 149, 154
Беляев Н.А. 199
Бирюков А.В. 185
Блохина С.Ю. 144
Богатырев Л.Г. 119
Борисочкина Т.И. 88
Брюханов А.Ю. 181
Бучкина Н.П. 112
Валова Е.Э. 140
Василевич Р.С. 45, 55, 68
Васильев Г.Р. 33
Васильев Э.В. 181
Васильева Н.С. 181
Вашукевич Н.В. 128
Виноградова К.А. 35, 50, 106
Владимиров С.А. 174
Вовк А.М. 109
Вождаева М.Ю. 99
Волков Д.С. 153, 162
Волкова Т.Ю. 103
Воробьев Н.И. 171
Вотолин К.С. 92, 143
Гаджибагомедов Р.А. 162
Галушко А.С. 118
Гарайшина А.В. 123
Гарезина А.А. 108
Гаркуша Д.И. 207

Головенко Э.К. 56
Гончарова Е.Д. 115
Гончарова О.Ю. 53, 115
Горохов К.А. 33
Грехова И.В. 168, 169, 204
Гречищева Н.Ю. 185
Григоренко В.Г. 153
Григорьева И.И. 75, 114
Дагалдьян А.С. 56
Данилин И.В. 32, 75, 79, 114, 121
Данилова О.А. 146
Данченко Н.А. 177
Демин В.В. 77, 108
Дёмин К.А. 56
Дергачева М.И. 96, 98, 104, 106
Деревенец Е.Н. 195, 196
Добровольская В.В. 63
Дорожко Е.Ю. 90, 91
Дубровина А.В. 205
Дудникова Е.Л. 90
Дудникова Т.С. 160
Дымов А.А. 129
Дьячковский Р.А. 42, 43
Дюгидова О.А. 58
Жемякин В.С. 171
Жеребцов С.И. 92, 143
Жигарев А.А. 194
Жилкибаев О.Т. 73
Жиркова А.М. 67, 153, 162, 176
Жмакова Н.А. 155
Журба В.С. 63
Заварзина А.Г. 18, 115, 198
Завгородняя Ю.А. 77, 108
Завьялова М.Г. 82, 101
Задорина И.О. 138
Зверева А.В. 46
Зиганшина А.Р. 75, 129, 177
Золкина Е.И. 27
Зорина С.Ю. 103
Изосимова Ю.Г. 124
Инишева Л.И. 134, 135
Исагалиев М.Т. 43
Казюлин Л.Ф. 166
Кантор Е.А. 99
Касаткина И.Г. 154
Кирюшина А.П. 57
Китапова Р.Р. 150
Климкина Ю.М. 27
Ковалев И.В. 85
Ковалева Н.О. 85
Колесник О.В. 194
Колмаков И.С. 168
Колчанова К.А. 88, 124
Комаров А.А. 28, 144
Константинов А.И. 153
Корочкина А.М. 60
Корсунова Ц.Д-Ц. 137, 138, 140
Костецкий Д.М. 112
Котова М.В. 153
Крайко В.М. 90, 91
Красильников П.В. 116
Крючкова Д.С. 162
Кудряшева Н.С. 194
Кулачкова С.А. 195, 196
Куликова Н.А. 201
Курганова И.Н. 103
Кушнов И.Д. 94
Ладан С.С. 163, 171
Ларионов К.С. 82, 101, 153
Лебедева Т.Н. 103
Леонтьев А.А. 50
Лодыгин Е.Д. 45, 55, 68
Лоншакова-Мукина В.И. 76, 77
Лопес де Гереню В.О. 103
Лоскутов С.И. 188
Лукин С.М. 27
Мажайский Ю.А. 159, 160
Мазурик Д.И. 49
Майорова И.А. 38
Макарова А.А. 76

Макарова Н.Л. 155
Максимов С.В. 201
Малышенко Н.В. 143
Мальцева А.Н. 173
Манжикова А.В. 58
Марчук Е.И. 27
Матвеева Н.В. 88
Маторин Д.Н. 67, 202
Мельницкий И.А. 99
Милановский Е.Ю. 173
Мингареева Е.В. 30, 32
Минкина Т.М. 24
Минников Я.В. 174
Миннуллина Я.И. 116
Миронов В.В. 185
Михеев И.В. 201
Навой Е.А. 198
Наронова Н.А. 154
Низамутдинов Т.И. 40, 111, 135
Николаев Е.Н. 82, 101
Новиков А.И. 144
Огородняя С.А. 129
Орлова Е.Е. 35, 50, 52, 53, 106
Орлова Н.Е. 35, 53, 106
Павлов А.А. 159, 160
Панкратов Д.А. 162
Пацаева С.В. 48, 146
Перминова И.В. 16, 67, 82, 84, 101, 153, 162, 174, 176
Перов Н.С. 162
Петров К.В. 82, 101, 153
Пластинина Е.В. 109
Поляков В.И. 40
Попов А.И. 73
Прокофьева Т.В. 33
Пухальский Я.В. 188
Пушкарева Е.М. 199
Раджабзода П.А. 67, 162
Рижинашвили А.Л. 120
Розанова М.С. 33, 46, 116, 123, 131
Рубцова М.Ю. 153
Русаков Г.А. 54
Самбуу А.Д. 103
Самохина Н.П. 103
Сангаджиева Л.Х. 58
Семенов В.М. 80
Семенов М.В. 98, 177
Семенюк О.В. 53, 119
Сергеева Ю.Д. 146
Сердюк В.В. 131
Серебряков П.В. 99
Сериков К.П. 48, 205
Симонова Ю.В. 87
Смоленцева Е.Н. 103
Смольский Е.Ю. 48
Соколова И.В. 134, 135
Соколова Л.Г. 103
Соколовская Ю.Г. 48
Соловьев Т.М. 165, 166
Старкова А.А. 179
Степанов А.А. 48, 60, 63, 93
Столпникова Е.М. 85
Субботина М.Г. 179
Сутормин О.С. 69, 77, 192
Суханов П.А. 28, 144
Сушкова С.Н. 160
Сюй Ш. 35, 50, 52, 106
Таридонова Е.Н. 84
Тегесов Д.С. 28
Телеснина В.М. 103, 119
Терехова В.А. 22, 48, 144, 146, 191, 195
Терешина В.М. 146
Тихомирова Е.И. 149
Тихонова И.Л. 149
Толпешта И.И. 124
Толстоусова С.А. 87
Тосхопоран А.К. 57
Тришкин Г.Н. 201
Турдалиев А.Т. 64

Умарова А.Б. 57
Упорова М.А. 103
Фаррахова Г.Р. 69
Фарходов Ю.Р. 32, 75, 98, 177
Федорова М.Е. 30
Федосеева Е.В. 146
Федотова А.С. 194
Филимоненко Е.А. 94, 103
Хайдаров М.М. 64
Хайдарова М.М. 64
Хакимжонова Н. 43
Халецкая Г.Ю. 184
Хасанов Э.М. 99
Хасанова Г.Р. 163
Хитров Н.Б. 21
Холова А.Р. 99
Холодов В.А. 32, 75, 98, 121
Холостов Г.Д. 38
Хорошаев Д.А. 103
Хрептугова А.Н. 82, 84
Хуан Л. 141
Цомаева Е.В. 114, 121
Цховребов В.С. 109
Цыбенов Ю.Б. 137
Чайковская О.Н. 134, 135
Чебыкина Е.Ю. 42, 43, 135
Чебышев К.А. 207
Чебышева Т.С. 207
Чермашенцев Г.Р. 201
Чернова М.В. 33
Чернышева М.Г. 201
Черняк И.В. 101
Чжан Сымэн 176
Чимитдоржиева Э.О. 137, 138, 140
Чуков С.Н. 15, 30, 31, 35, 52, 55
Шарова Е.А. 149
Швецова А.А. 61, 111
Шепелев Р.С. 204
Шкиндер Н.Л. 149, 154
Шуваев Е.Г. 160
Шувалов Д.В. 169
Шулаков А.Ю. 57, 205
Щербина К.Е. 160
Щуринов Я.С. 207
Эпштейн С.А. 165, 166
Эргашева Н.А. 189
Юдина Н.В. 134, 135
Юлдашев Г. 43
Юрова А. 132
Якименко О.С. 63, 144, 146, 195
Янута Ю.Г. 90, 91
Януцевич Е.А. 146

Научное издание

Гуминовые вещества в биосфере

Сборник докладов
VIII Всероссийской научной конференции
«Гуминовые вещества в биосфере»,
XI международной конференции СНГ МГО
по гуминовым инновационным технологиям «НІТ-2026»
«Природные и искусственные гуминовые вещества:
перспективы для природоподобных технологий и биоэкономики»,
IV международной молодежной научной школы
«Проблемы измерения биологической активности
гуминовых продуктов»

г. Санкт-Петербург, 21–23 октября 2026

Издается в авторской редакции
Технический редактор *К. В. Михайлов*
Главный редактор *В. М. Коровин*

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел Групп»
https://publishing.intelgr.com
E-mail: publishing@intelgr.com
Тел.: +7 (812) 945-50-63

Подписано в печать 19.11.2026.
Формат 60×84/16
Объем 13,5 п.л.
Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-00271-208-3

