



Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Факультет почвоведения МГУ

Общество почвоведов имени В.В.Докучаева

Российская Академия Наук

Роль почв в биосфере и жизни человека

Материалы докладов II Международной научной конференции

«Роль почв в биосфере и жизни человека», посвященной

110-летию со дня рождения академика Г.В. Добровольского

и 270-летию Московского университета

(Москва, МГУ, 27-30 октября 2025 г.)

Москва, 2025 г.



Lomonosov Moscow State University

Soil Science Faculty

V.V. Dokuchaev Soil Science Society

Russian Academy of Sciences

The Role of Soils in the Biosphere and Human Life

Proceedings of the II International Scientific Conference "The Role of Soils in the Biosphere and Human Life" dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician G.V. Dobrovolsky and the 270th anniversary of Moscow University (Moscow, Moscow State University, October 27-30, 2025)

Moscow, 2025

УДК 631.4

ББК 40.3

П 65

Ответственные редакторы

С.А. Шоба, Н.О. Ковалева, Е.М. Столпникова

Editors-in-Chief

S.A. Shoba, N.O. Kovaleva, E.M. Stolpnikova

П 65 Роль почв в биосфере и жизни человека: материалы докладов II Международной научной конференции «Роль почв в биосфере и жизни человека», посвященной 110-летию со дня рождения академика Г.В. Добровольского и 270-летию Московского университета (Москва, МГУ, 27-30 октября 2025 г.). /Отв. ред.: С.А. Шоба, Н.О. Ковалева, Е.М. Столпникова. – Москва: МАКС-Пресс. 2025. **292 с.**

*The Role of Soils in the Biosphere and Human Life: Proceedings of the II International Scientific Conference "The Role of Soils in the Biosphere and Human Life" dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician G.V. Dobrovolsky and the 270th anniversary of Moscow University (Moscow, Moscow State University, October 27-30, 2025). / Ed.: S.A. Shoba, N.O. Kovaleva, E.M. Stolpnikova. - Moscow: MAKSPress. 2025. **292 p.***

ISBN 978-5-317-07493-7

Сборник содержит рабочие материалы докладов по теоретическим и прикладным проблемам экологического почвоведения, методологии исследований, оценки состояния почвенных ресурсов, функционирования почв и почвенного покрова, продовольственной безопасности, представленных на Международной научной конференции «Роль почв в биосфере и жизни человека», посвященной 110-летию со дня рождения академика Г.В. Добровольского и 270-летию Московского университета

The collection contains working materials of reports on theoretical and applied problems of ecological soil science, research methodology, assessment of the state of soil resources, soil functioning and soil cover, food security, presented at the International Scientific Conference "The Role of Soils in the Biosphere and Human Life", dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician G.V. Dobrovolsky and the 270th anniversary of Moscow University

© МАКС-Пресс, 2025

© Коллектив авторов, 2025

Секция 1. Почвенные ресурсы: оценка состояния и рациональное использование

УДК 631.48.

АГРОПОЧВЫ ЯМАЛЬСКОГО РЕГИОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ВТОРИЧНОГО ВОВЛЕЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРАКТИКИ

Е.В. Абакумов, Т.И. Низамутдинов

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,

e_abkakumov@mail.ru

История земледелия на Ямале очень богата, пик развития сельскохозяйственных практик наблюдался в советское время, когда экспансия сельского хозяйства в Арктику осуществлялась на государственном уровне. После распада СССР почти все пахотные почвы Ямальского региона перешли в залежное состояние. Нами в 2016-2025 гг. проведено изучение морфологических параметров и агрохимического состояния залежных почв региона в окрестностях городов и поселков. Следует отметить, что в данном сегменте криолитозоны преимущественно осваивались почвы, сформировавшиеся по породах легкого гранулометрического состава, как правило, эти почвенные массивы расположены на берегах р. Оби и других рек. Установлено, что после перехода в залежь почвы долгое время сохраняют свои морфологические признаки и свойства (гораздо дольше, чем в южно-таежной зоне, где наблюдается вторичное оподзоливание верхней части профиля). В криогенных почвах приобретенные агрогенные морфологические признаки являются гораздо более консервативными, чем в немерзлых почвах.

Интересно, что в залежных почвах долгое время сохраняется довольно высокий уровень содержания ключевых элементов питания. Это связано наличием слоя многолетнемерзлых пород, из-за чего элементы питания не теряются из почвенно-мерзлотного комплекса.

Проведены исследования локальных практик земледелия в рыбацких деревнях коми-поселенцев. Здесь существует практика создания агропочв на подвешенных деревянных конструкциях, изолирующих агропочвы от холодной криогенной почвы. В такие агропочвы вносятся остатки рыбы, компостированные с растительным материалом. Эти практики земледелия распространены на берегах р. Оби как минимум до 68° с.ш. Наиболее северные агропочвы описаны в пос. Сеяха (70° с.ш), площадь этого ареала почв всего несколько десятков кв.м., между тем, здесь зафиксировано успешное получение урожая картофеля в открытом грунте (при формировании ветровой защиты в виде заслонов).

Очень важно сохранение важнейших объектов мониторинга, в частности агропочв Ямальской опытной станции, поле которой в г. Салехарде существует уже почти 100 лет. Слой многолетнемерзлых пород здесь углубился за весь период существования станции с 1 м до 2,7 м, т.е. почва перестала быть криогенной и стала более дренированной и сухой, хотя подобные тренды выявлены далеко не на всех объектах, исследованных нами. В обозримом будущем вполне вероятно экспансия земледелия в северные регионы. Этот процесс должен быть методически и методологически подкреплён существующей информацией о практиках использования криогенных и посткриогенных почв в сельскохозяйственных практиках. При этом уже ясно, что центральной части Ямальского региона возможны летние засухи: отмечается дефицит влаги в верхней части профиля при том, что в надмерзлотном слое наблюдается избыток влаги. Таким образом, феномен агрогенного почвообразования в Арктике требует дальнейшего всестороннего изучения, что важно не только с практической точки зрения, но и в контексте генезиса, эволюции и экологии почв криолитозоны.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 24-44-00006

УДК 631.4

КРАСНАЯ КНИГА ПОЧВ КАК ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ ОСНОВА ОХРАНЫ ПОЧВ

Безуглова О.С.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: lola314@mail.ru

Законодательной основой для создания Красных книг почв является Федеральный закон “Об охране окружающей среды” (10 января 2002 г. №7-ФЗ) в котором указано, что Красная книга почв Российской Федерации и Красные книги почв субъектов Российской Федерации учреждаются с целью учета и охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения почв. В статье 62 этого Закона говорится, что порядок отнесения почв к редким и находящимся под угрозой исчезновения, а также порядок установления режимов использования земельных участков, почвы которых отнесены к редким и находящимся под угрозой исчезновения, определяется законодательством. Однако нормативные документы и методические рекомендации, регламентирующие составление и ведение Красных книг почв, до настоящего времени не разработаны. Существуют лишь общие методологические подходы, обоснованные в научных статьях и монографиях. Вероятно, причины такого положения дел достаточно объективны, так как почвы разных регионов страны отличаются как особенностями генезиса, свойствами, уровнем плодородия, так и степенью сельскохозяйственной освоенности и преобразованности.

Региональные Красные книги почв призваны сыграть роль законодательной основы для научно обусловленной защиты почвенного покрова того или иного региона. Единые принципы составления Красных книг почв разработаны для всей страны, однако в регионах, каждый из которых характеризуется какой-либо спецификой почвенного покрова, возможны особенности в разработке этого документа (Добровольский, Никитин, Орлов, 1984; Крупеников, Родина, 1986; Добровольский, Никитин, 1990; Чернова, 1995; Куксанов и др., 2014; Григорян и др., 2015; Чернова, Безуглова, 2018).

Так, для регионов, характеризующихся высоким процентом распаханых земель, выделение участков для сохранения и изучения краснокнижных почв особенно проблематично, фактически здесь наиболее плодородные почвы являются и наиболее активно используемыми в сельском хозяйстве, что в значительной степени изменяет их морфологический облик и свойства. Недаром в Классификации почв России (2004) такие почвы выделены на уровне самостоятельных агротипов. Например, в Ростовской области такими почвами являются черноземы обыкновенные карбонатные (миграционно-сегрегационные) и черноземы южные (текстурно-карбонатные). Фактически такие почвы в нативном виде остались только в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ), и площади, занимаемые ими, настолько малы, что это даже позволяет их отнести к исчезающим почвам. В подобных регионах для отнесения почвы к категории эталонных либо особо ценных типов с целью последующего включения в Красную книгу почв было предложено их выделение на ООПТ, где они сохранились в целинном или слаборазрушенном состоянии (Чернова, Безуглова, 2018).

Следует отметить, что по сложившейся на сегодня практике почвенный покров большинства ООПТ представляет собой «терра-инкогнито»: нет детальных почвенных карт, нет банка данных почвенных анализов. Обусловлено это как объективными, так и субъективными причинами. В СССР основное внимание почвенных служб уделялось сельскохозяйственным территориям, в силу чего подробные почвенные карты составлялись именно для совхозных и колхозных земель. С другой стороны, в субъектах Российской Федерации руководство не всегда понимает важность этой работы, в связи с чем, исследования не финансируются, а уже имеющиеся материалы не учитываются при принятии решений. Так, изданная в 2009 году Красная книга почв России, по сути, являющаяся обширным справочником по почвам, представляющим особую ценность и подлежащим в том или ином виде охране, законодательной силы, к сожалению, не имеет. Свидетельством тому является тот факт, что не все 32 объекта Ростовской области,

включенные в Красную книгу почв России, получили статус особо охраняемых природных территорий областного значения.

Тем не менее, в ряде субъектов Российской Федерации ученые смогли решить проблему создания региональных Красных книг почв. Такие документы созданы в Оренбургской, Волгоградской, Белгородской, Ленинградской областях и Воронежской областях, а также в Пермском крае, Республиках Калмыкия, Татарстан и Крым. В ряде регионов активно ведутся исследовательские работы, однако большая часть территории России такой информации еще не имеет.

Для регионов с высокой долей распаханых земель, к каковым относится и Ростовская область, в связи с практическим отсутствием целинных вариантов почв возникает ряд дополнительных трудностей. Именно поэтому особое внимание в процессе работы над Красной книгой почв Ростовской области уделяется первому разделу рубрикатора Красной книги почв – выделение почвенных эталонов. Высокая интенсивность агрогенного давления на почвенный покров чревата изменениями свойств почв, снижением их естественного плодородия, развитием деградационных процессов. Учитывая высокую интенсивность использования черноземов Ростовской области и их высокую значимость в обеспечении продовольственной безопасности страны, необходимо обеспечивать качественное проведение мониторинговых работ с целью предотвращения их деградации. С этой целью особую значимость приобретает подбор эталонов, роль которых как раз и призваны выполнять почвы, внесенные в Красную книгу. Между тем, в Ростовской области из 40 охраняемых ландшафтов только шесть расположены на черноземах обыкновенных карбонатных.

Охраняемые ландшафты и охраняемые природные объекты должны иметь комплексный профиль, как это и записано в охранных регистрационных документах, однако в описаниях дается информация о растительном покрове и животном мире, перечисляются виды, занесенные в Красные книги. И нет даже упоминания о том, какие почвы слагают эти территории. Почвенное обследование этих территорий позволит создать репрезентативную систему почвенных эталонов – объектов Красной книги почв – для их сохранения, исследования и ведения мониторинга.

Исследование выполнено при финансировании по Государственному контракту № 01582000003250000060001 на выполнение научно-исследовательских работ по созданию Красной книги почв Ростовской области

УДК 631.6.02

ЭТАПЫ АКТИВИЗАЦИИ АГРОЭРОЗИОННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ НА СЕВЕРЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ – НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА СТАРЫЕ ДАННЫЕ
Беляев В.Р.¹,

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, belyaevvr@my.msu.ru

Многочисленные исследования, выполненные в течение последних десятилетий на территориях длительного сельскохозяйственного освоения, в частности, в пределах северной и центральной частей Среднерусской возвышенности, четко демонстрируют доминирующую современную тенденцию к снижению среднегодовой интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на сельскохозяйственно освоенных водосборах за последние 30-40 лет. Основными причинами этого считается сочетание социально-экономических изменений позднего и постсоветского периода (общий экономический кризис, повлекший существенное снижение сельскохозяйственного производства, забрасывание значительных площадей пашни, сокращение сельского населения) с климатическими причинами, прежде всего, существенным снижением стока и смыва в период весеннего снеготаяния, обусловленным уменьшением мощности слоя сезонного промерзания-оттаивания в большинстве сельскохозяйственно освоенных регионов. Этот генеральный тренд, однако, может осложняться отдельными экстремальными эрозионными событиями, а также более длительными флуктуациями, связанными с

изменением частоты стокоформирующих ливней теплого периода и условий формирования стока весеннего снеготаяния, а также с рядом хозяйственно-экономических причин, включая изменения конфигурации сельхозугодий, внедрение новых машин и технологий обработки почвы, изменения состава возделываемых культур и структуры севооборотов. Оценка количественных соотношений ведущей тенденции с наложенными флуктуациями и отдельными экстремальными проявлениями эрозионно-аккумулятивных процессов представляет не только общенаучный интерес, но и крайне важна для разработки рациональных подходов к территориальной организации сельскохозяйственного землепользования, а также обоснованного определения современного распространения и прогноза будущей трансформации полей загрязнения территории такими веществами, как радиоактивный изотоп цезия-137.

При рассмотрении пространственной и временной неоднородности процессов эрозионной деградации почв на обрабатываемых землях, одним из наиболее дискуссионных является вопрос установления периода времени в пределах продолжительности массовой распашки территории, к которому следует относить преобладание максимальных темпов смыва почвы, а также его причинно-следственное обоснование. Как в трудах основоположников отечественного эрозиоведения, так и в более поздних публикациях, встречается предположение, что периодом максимальной интенсивности и пространственного размаха антропогенно спровоцированных эрозионных процессов (включая как эрозию почв, так и линейную эрозию), по крайней мере, для староосвоенных малых речных бассейнов северной части Среднерусской возвышенности, являлась вторая половина XIX-го и начало XX-го в. Это связывается с практически бесконтрольной распашкой максимальных по площади территорий, включая неудобья и крутые склоны балок и малых долин, последовавшей за земельной реформой 1861 г. и повлекшей за собой мощную вспышку линейной эрозии и склонового смыва. Такая точка зрения имеет под собой серьезные основания, и подтверждается как анализом мощностей коррелятных отложений, перекрывающих верхнюю погребенную почву в днищах балок и долин малых рек на протяжении последних 150-180 лет, так и рядом документальных свидетельств.

Уникальным примером последних является известная «Карта размыва водосборов рек Зуши, Плавы и Труды в пределах Тульской губернии» (административное деление – по состоянию на 1912 г.), составленная по данным беспрецедентных по размаху, для периода отсутствия данных дистанционного зондирования Земли, полевых исследований 1908-1909 гг., под руководством одного из крупнейших отечественных эрозиоведов, ученика В.В. Докучаева, Алексея Семеновича Козменко, и опубликованная в 2012 году в составе серии тематических авторских карт на ту же территорию. Масштаб карты (3 версты в 1 дюйме) соответствует метрическому масштабу 1:126000. На карте можно видеть поразительную, с точки зрения знакомых с современным состоянием исследуемой территории, интенсивность и площади поражения эрозионно-аккумулятивными процессами всех иерархических уровней, от склонового смыва, до аккумуляции и донных врезов в крупных балках, размывов русел малых рек. Все эти процессы отображены в очень наглядной форме, на основе легко читаемой и, на наш взгляд, весьма удачной легенды, специально разработанной авторами. При этом, большинство процессов – в четких количественных градациях (линейная эрозия на водосборных склонах – 5 классов по среднему объему линейных эрозионных форм, донные врезы в ложинно-балочной сети – 5 классов по средней площади поперечного сечения), либо с четкими пространственными (точечными – эрозионные уступы, линейными – размывы берегов, или площадными – зоны активного развития плоскостного смыва) привязками. Это позволяет и в наше время оценить интенсивность и пространственное распространение активно протекавших в тот период процессов, а также выполнить сопоставление состояния тех или иных малых водосборов на начало XX века с ситуацией на более поздних этапах, полученной из других источников (топографические карты, данные ДЗЗ, непосредственные полевые наблюдения). Кроме того, на карте показаны, также,

постоянные водотоки и пруды, что дает возможность оценивать и изменение состояния гидрографической сети.

Опыт сопоставления данных «Карты размывов...» с состоянием ряда ключевых участков, определенным по доступным источникам (топографические карты 1960-х гг масштаба 1:25000, топографические карты 1930-х и начала 1980-х гг масштаба 1:50000, разновременные космические снимки, полевые наблюдения) позволяют уверенно утверждать, что пик активизации линейной эрозии (развитие береговых и склоновых оврагов, активный рост многочисленных донных врезов в балках) пришелся на первые десятилетия XX века. К началу Великой Отечественной Войны уже, по большей части, стабилизировались донные врезы в балочной сети и густые сети береговых оврагов.

Активность значительной части склоновых оврагов отмечалась до 1960-х гг. Но, в соответствии со стадийностью развития оврагов, на более поздних этапах преобладало увеличение площади и объема отдельных форм за счет преимущественного отступания бровок склонов. В то же время, линейный рост большинства оврагов за счет регрессивного отступания вершин врезов к этому периоду времени уже, по большей части, прекратился, что определялось критическим снижением площадей водосборов при вершинах в процессе их продвижения вверх по направлению к водоразделам.

Сложнее обстоит дело со сравнением распространения зон активного плоскостного смыва, поскольку обычные топографические карты не несут подобной информации. Однако, имеющиеся примеры детальных (масштаб 1:10000) землеустроительных планов хозяйств показывают, что ареалы средне- и сильносмывтых почв, напротив, занимают значительно большие площади, чем отмеченные на «Карте размывов...» зоны интенсивного смыва почвы. Аналогичный вывод можно сделать и из сопоставления с современной ситуацией, оцененной на основании результатов дешифрирования спектрозональных спутниковых снимков на основе классификации с обучением по эталонным ареалам, выявленным по данным полевых работ. Хотя в данном случае невозможна строгая количественная оценка изменения интенсивности процессов, логично предположить, что площадь поражения пахотных склонов плоскостным смывом и его средняя интенсивность достигли своего максимума в позднее советское время, за счет интенсификации обработки почвы, широкого внедрения на исследуемой территории эрозионно-опасных пропашных культур, увеличения размеров отдельных полей и, соответственно, длины пробега склоновых потоков в их пределах, в ходе коллективизации сельского хозяйства. Таким образом, представляется возможным отметить асинхронность проявления максимальных темпов и площадей поражения территории плоскостным смывом (максимум наступил позднее, стадия снижения интенсивности продолжается последние 30-40 лет, но на нее накладываются отдельные экстремальные события и ряд осложняющих хозяйственно-экономических воздействий) и линейной (овражной) эрозией (максимум регрессивного линейного роста для большинства оврагов был достигнут уже в довоенное время, рост площадей и объемов оврагов продолжался до 1960-70-х гг, стадия затухания и стабилизации форм линейной эрозии насчитывает 60-80 лет).

УДК 94(47).04-06

ПАШЕННЫЙ ЛЕС РОССИИ XVI-XVIII ВВ. В РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ДИНАМИКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ: ОПЫТ ИСТОРИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КРИТИКИ ТЕРМИНА

Быков Д. А.

Специализированный учебно-научный центр (факультет) Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова – Школа-интернат им. А. Н. Колмогорова (СУНЦ МГУ), Москва, dmitbykov@mail.ru

Инерционный характер почвенного процесса на сопряженном земледельческом и лесопокрытом ландшафте старопашенных (старопашотных) районов Нечерноземья давно заслужил внимание практиков и исследователей, включая представителей гуманитарного

знания. Изучению влияния аграрных технологий на педогенез условно-коренных ландшафтов способно помочь сколь возможно полное выявление смыслового богатства относящейся к ним терминологии. Между тем широкий научно-исследовательский интерес к архаическим формам землепользования возник уже после их исчезновения или трансформации экологической роли.

Ввиду исторически большей, чем в эпоху научной организации их, близости сельского и лесного хозяйства, хотелось бы проследить основные вехи эволюции смыслового содержания важного для обеих макроотраслей термина – «пашенного леса». Звуча как оксюморон в обстановке индустриального природопользования, в своё время он занимал важное место в официальном учёте налогооблагаемой базы.

««Огневое подсечное земледелие может скрываться за описаниями многих явлений. Из таких для XIV–XV вв. можно назвать: лес пашенный, на севере – лес страдомый; и в том и другом могут разделять подсеки; подсекою может быть и пашня на «гарях», «палы», «сечи» и «пашня на сечах», «чищи», «роздели», «притеребы», «россечи», «подели» и т. д.»», – заключал Генн. Евг. Кочин в «Сельском хозяйстве на Руси в период образования Русского государства (конец XIII – начало XVI в.)» в середине 1950-х гг. Эта трактовка получила развитие в «Не поле кормит, а нива» 1999 г. и «Великорусском пахаре...» 1998/2006 г. Л. В. Милова. В «Пахаре...» и работах учеников Милова подробно освещены причинные детерминанты бытования лесного перелога в разных формах его и на протяжении XVIII в. (Д. А. Хитров, А. А. Голубинский, Д. А. Черненко Леса Центрального Черноземья в материалах Генерального межевания // Вестник Вологодского государственного педагогического университета. 2013. № 1; Алябина И.О., Голубинский А.А., Кириллова В.А., Хитров Д.А. Почвенные ресурсы и сельское хозяйство центра Европейской России в конце XVIII века // Почвоведение. 2015. № 11; Черненко Д.А. Суздальский уезд в конце XVIII в.: опыт ГИС-картографирования процессов заселения и хозяйственного освоения территории // Историческая информатика. 2017. № 4). Однако тот же Д. А. Хитров (О картографировании материалов книг валового письма 1620-х годов по Московскому уезду// Порядок и смута. Государство, общество, человек на востоке и западе Европы в Средние века и Раннее Новое время: к 85-летию В. Д. Назарова. М. 2023. С. 429-439) констатирует: «...Писцовые книги центральных уездов страны фиксируют микротопонимию во много раз подробнее, чем более поздние источники, и подавляющая часть упоминаемых в них названий пустошей не может быть локализована на карте», – и это соображение ещё более справедливо в отношении точной географической привязки участков пашенного леса. Данное обстоятельство повышает, на наш взгляд, значимость поиска и интерпретации эколого-исторических данных гуманитарных источников вообще и сведений о пашенном лесе, в частности. О трудностях с классификацией пашни, леса и сенокоса сообразно не фискальному, а хозяйственно-экологическому критерию, применительно к Среднему и Южному Предуралью середины XIX в. писали С. С. и Г. С. Смирновы. Вообще, обсуждение проблем фиксации пашенного леса писцами и межевщиками в качестве окладной или ландшафтной единицы было характерно для отечественной историографии XIX–XX вв. Так, при подсчете обеспеченности угодьями помещиков, у Я. Е. Водарского в «Дворянском землевладении в России в XVII - первой половине XIX в.: (размеры и размещение)» / Отв. ред. В. И. Буганов; АН СССР. - М.: Наука, 1988) – пашенный лес кадастровых документов первых Романовых объединяется с перелогом, но включается автором в «реальные чети», т. е. в «живущее». Но универсализировать такой методологический подход – значит либо констатировать текущее продуктивное (товарное) использование этого вида угодий, о чем прямых указаний в писцовых книгах (ПК) не содержится; либо требуется признать, что уже в допетровский период угодья облагались казной независимо от возможности извлечения из их эксплуатации текущей доходности, о чём опять-таки в ПК прямо не говорится. Как бы то ни было, трактовка Яросл. Евг. противоречит дореволюционной, предложенной С. Б. Веселовским. Степ. Бор. в работе

«Сошное письмо: исследование по истории кадастра и посошного обложения Московского государства» М., 1915-1916 считает, что «противоположение пашни в поле пашне в перелог и в лесу трудно считать исконным». Это была контрверза тезису В. И. Сергеевича (Русские юридические древности — Т. 3: Землевладение. Тягло. Порядок обложения. — СПб.: Тип. М. М. Стасюлевича, 1903): «Паханая пашня в поле считается в живущем, а в перелог — в песте»; с тем меньшим основанием Вас. Ив. мог бы отнести пашенный лес к живущей четверти.

И в настоящее время пашенный лес, например, в истории земледельческого освоения полигона «Зеленоградский» почвоведомы рассматривается в обобщенном контексте перелога и запустения «пашни паханой» - при значительности проделанной работы по локализации участков с разной хозяйственной историей – см. Над. Никол. Иванова, Дарья Владим. Фомичева, Евг. Никол. Шамшурина (Изменение ареалов пахотных угодий за 250 лет (на примере ключевого участка в Московской области) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 3.)

В качестве ландшафтно-экологической группы (ибо объединяет разные по составу и структуре сообщества) и в значении объекта налогового учёта пашенный лес обозначает для нас резерв пахотной земли с лесопокрытой дневной поверхностью. Этим он интересен как элемент неистощительного землепользования при развитии лесопольного хозяйства, отраслевого и специализированного сельского и лесного хозяйства, включая добычу недревесных ресурсов, лесное пчеловодство и собственно бортничество в контексте воссоздания генофондов районированных популяций медоносной пчелы, дичеразведение и т. д. Все эти формы природопользования в писцовом кадастре отражены, включая птичьи ловища и рыболовную инфраструктуру – действительно, пашенные леса поддерживали благоприятный почвенно-климатический режим, стабилизировали осадконакопление и уровень влажности.

Заслуживает внимания «пашенный лес дуброва» - он встречается в кадастровых материалах XVI-XVII вв. и, возможно, о нем же идет речь в материалах Межеваний XVIII-XIX вв., где в дачах «лес дуброва» не отнесен прямо к роще или заказу, а связан, напротив, с сенокосом и пашней. Чаще это Замосковский край и земли Поволжья, есть и сибирские данные. Так, Перепись Казанского уезда 1566-68 год — Книга казанского уезда поместных земель детей боярских Казанских старых жильцов письма и меры Дмитрия Андр. сына Кикина с товарищи лета 7074 г. указывает «Починок Новой Мити Батушина на р. на Казани... всего три двора, пашни 2 чети, да зарослей и дубров пашенных 5 десятин в поле, а в дву потому ж) – то есть здесь можно предполагать запуск пашни паханой под дубраву ради регумификации, но в рамках тягло-вытного учета трехполья). «...И всего деревня да починок, а в них шесть дворов, а людей тож, пашни добрые земли и с монастырскою 5 чети, да зарослей и дубров пашенных 35 десятин в поле, а в дву потому ж, сена к монастырю и к деревне и к починку в лугу, меж реки Волги и речки Туруказанки, по протопоповы покосы 600 копен, лесу пашенного и непашенного около монастыря и деревни и починку по смете в длину на версту, а поперек на полверсты.» - указан, возможно, разный возраст древесной растительности или различное ее происхождение.

Развитие этого положения можно видеть в кадастре Вятской земли (Писцовая книга 1629 года Хлыновского уезда письма и меры Ф.Толочанова да подьячего О.Иевлева; РГАДА. Ф. 1209. Оп. 1. Кн. 1029. Сырьянский стан (тяглые) Слободского уезда по микрофильмам «1209-1-1029а РГДА (тяглые)» Дозорная книга Вятских городов и уездов 1615 год. (РГДА ф. 1209. кн. 1029 а) – л. 506 об. «...Лесу пашенного десятина во всех трех полях. А вытей за ними в живущем полторы выти и пол-полтрети выти...

Пустошь, что было займище Ореховское на речке на Плоской. Запустела 60 лет. Пашни худые земли лесом поросло больше 5 четвертей без полу-осмины в поле, а в дву потому ж; сена около пол 20 копен; лесу пашенного 3 десятины во всех 3 полях, а в ней впусе треть

выти.» - т. е. учет по аналогии с трехпольем всякого леса на сельхозземлях, но вытное тягло здесь наложено только на пашенный лес – но не на пашню, лесом поросшую. «Список с писцовой книги 7086 и 7087 (1578 в 1579) города Каширы и его посада и поместных, церковных, монастырских и дворцовых земель в станах Растовском, Безпуцком, Мстиславском, Тешилове и Турове, письма и меры князя Ивана Даниловича Гагарина и Афонася Ивановича Исакова с товарищи» содержит много упоминаний пашенного леса дубровы, например, в станах Мстиславском и Тешилове – но там регулярны примечания о запустении местности от набега крымцев; впрочем, возраст дубрав не указан. Встречался «пашенный лес дуброва» и в бассейне Иртыша (Дозорная книга 1623 года) ««Деревня за рекою Кундускою в дуброве. ...Во дворе посадкой человек Бориско Балин. Пашни паханные средние земли 12 четей в поле а в дву потому ж да пашенново лесу в дуброве 10 десятин.... У Бориска ж вобче с Игнашкою поскотинные земли лесново места 8 десятин. Да у Бориска ж Балина другая пашня на Чувашех паханные средние земли две чети с осминою да перелогу 12 четей в поле а в дву потому ж.» - здесь, однако, в манере описания трехполья говорится как раз о перелоге, а не о пашенном лесу дуброве. «Деревня за Иртышем за остовицей. Во дворе посадкой человек Еремка Балин. Пашни у него паханные средние земли 8 четей да перелогу 8 четей в поле а в дву потому ж. Пашеннова лесу дубровы 5 десятин...»

Пашенный лес могли измерять и повёрстно (1631 г. января 29 – Выпись из писцовых книг С. А. Давыдова и подьячего О. Трофимова на вотчину Николо-Моденского монастыря в Новом и Велетовом станах Угличского уезда) – «Пустошь, что был починок Притыкин на реке на Мологе. Пашни лесом поросло худые земли 5 четей в поле, а в дву по тому ж. Сена у пустоши и в луке выше монастыря 50 копен. Лесу монастырского пашенного и непашенного около монастырских деревень и починков от монастыря вверх по реке по Мологе подле реки берегом к пустоши Слудам до сухой паточкины до ям до межных на 3 версты.). Возможно, что пашенный лес дуброва по экологическому значению отличался от других древостоев, почему и измерялся в десятинах. Не исключено, впрочем, что так мерили в силу ограниченности лесопокрытой площади. Но кажется возможным допустить, что пашенный лес в десятинах и четвертях без указания породного (видового) состава мог учитываться при повышенной ценности для полеводства.

УДК 631.4

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ «РУСАЛ»)

Войт Р.А., Редюк Д.А., Грузных А.С., Закусина А.В.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, voytra@my.msu.ru

Алюминиевое производство является значительным источником техногенного воздействия на окружающую среду, в первую очередь на почвенный покров.

Промышленные выбросы приводят к деградации почв, выражающейся в изменении физико-химических свойств, угнетении биологической активности и накоплении поллютантов выше предельно допустимых концентраций. Мониторинг и прогнозирование состояния почв в зоне влияния таких предприятий – важнейшая задача экологической безопасности. Традиционные методы мониторинга, основанные на дискретных полевых и лабораторных исследованиях, являются ресурсоемкими и не всегда позволяют выявить комплексные пространственно-временные закономерности трансформации почвенного покрова. В этой связи разработка инструментов, основанных на методах машинного обучения (МО), для интегральной оценки и прогнозирования динамики почвенных свойств представляется актуальным и перспективным направлением.

Формирование репрезентативного массива данных для построения прогностических моделей осуществлялось на основе консолидации данных полевого и лабораторного

мониторинга, а также привлечения верифицированных внешних наборов. Помимо авторских данных, полученных в зоне влияния предприятий компании «РУСАЛ», в анализ были включены релевантные публичные наборы, решающие схожие задачи экомониторинга. Для калибровки моделей на специфические для алюминиевого производства загрязнители использованы исторические данные по фторидному загрязнению почв Норвегии («Aluminium-smelters and fluoride pollution of soil and soil solution in Norway»). В контексте оценки миграции поллютантов в речных системах привлечены данные радиоэкологического мониторинга поймы реки Енисей («Monitoring and assessment of ^{137}Cs and ^{90}Sr radioactive isotopes in the 'soil - rhizosphere - sedge' system of the Yenisei River floodplain (near impact zone of Krasnoyarsk MCC, Russia)»). Методологический базис для прогнозирования тяжелых металлов заимствован из работы «Improved mapping of heavy metals in agricultural soils using machine learning augmented with spatial regionalization indices», где продемонстрирована эффективность машинного обучения, усиленного пространственными региональными индексами. Интеграция указанных разнородных данных позволила сформировать обширную эмпирическую основу, адекватно отражающую комплексное воздействие объекта исследования на почвенный покров. Для каждого почвенного образца был собран вектор данных, включающий стандартные агрохимические показатели и результаты инструментального анализа. В качестве исходного цифрового следа, несущего информацию о молекулярной структуре гумуса, использовались спектры поглощения гуминовых кислот, полученные методом ИК-Фурье спектроскопии. Таким образом, исходный датасет сочетал в себе структурированные табличные данные и неструктурированные спектральные кривые. Основной задачей машинного обучения стало построение регрессионных моделей, способных прогнозировать агрохимические показатели почвы напрямую по спектральным данным, минуя трудоемкие лабораторные анализы. Для решения этой задачи был применен метод проекции на латентные структуры (PLS-регрессия). В качестве метрик качества использовались коэффициент детерминации (R^2) и средняя квадратичная ошибка (RMSE) на тестовой выборке, сформированной методом случайных подвыборок. Ключевым этапом подготовки данных к моделированию стала процедура предобработки спектральной информации. Для устранения шумов и артефактов был применен пайплайн, включающий коррекцию базовой линии методом airPLS (Adaptive Iteratively Reweighted Penalized Least Squares), нормализацию по вектору и фильтр Савицкого-Голея. После предобработки из каждого спектра был извлечен вектор признаков (интенсивности при соответствующих волновых числах), которые вместе с агрохимическими переменными составили общую матрицу для последующего анализа. Для снижения размерности и выявления латентных переменных был задействован метод главных компонент (PCA), который наглядно продемонстрировал кластеризацию образцов в соответствии с системой земледелия исключительно на основе их спектральных характеристик. Разработанные PLS-модели продемонстрировали высокую прогностическую эффективность. Анализ важности переменных в модели показал, что наибольший вклад в прогноз вносят не отдельные пики, соответствующие конкретным химическим группам, а определенные участки спектра, что указывает на комплексный характер признаков, значимых для алгоритма. Это подтверждает гипотезу о том, что машинное обучение способно выявлять сложные спектральные паттерны, интегрально отражающие состояние почвенного гумуса. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предложенный подход позволяет перейти от точечного химического анализа к оценке интегральных цифровых профилей почвы. Установленная возможность точного прогнозирования трудоемких для определения агрохимических свойств по спектральным данным открывает путь к созданию автоматизированных систем экспресс-диагностики. Важным выводом является также успешность стратегии работы с гетерогенным датасетом, где различные типы данных были консолидированы для решения единой аналитической задачи. Перспективы работы видятся в расширении датасета за счет включения образцов других типов почв, а

также в тестировании более сложных алгоритмов, таких как ансамбли деревьев и сверточные нейронные сети, для выявления еще более сложных нелинейных зависимостей в спектральных данных. Это создает основу для разработки программных решений, способных в автоматическом режиме не только оценивать, но и прогнозировать динамику плодородия почв в условиях меняющихся практик землепользования.

УДК: 502

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФИТОИНДИКАЦИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕГРАДИРУЮЩИХ ПОЧВ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

¹Р. Е. Войтенко, ²К. Д. Богословский, ³Г. Г. Морковкин

^{1, 2, 3} ФГБОУ ВО ГУЗ, Россия, Москва

105064, Москва, ул. Казакова, 15, e-mail: voitencko.rimma@yandex.ru,

kostan.ogc@gmail.com, ggmork@mail.ru

В последние годы возросла проблема деградации почвенного покрова в связи с увеличением техногенной нагрузки на экосистему. Метод фитоиндикации позволяет выявить почвы, подверженные деградации, оценить степени негативного влияния и провести экологическое зонирование территорий по степени воздействия для выявления областей наиболее сильно подверженных антропогенному воздействию.

Ключевые слова: Почвенный покров, деградация, биоиндикация, фитоиндикация, уровни фитотоксичности, техногенная нагрузка, экосистемы, поллютанты

USING THE PHYTOINDICATION METHOD TO IDENTIFY DEGRADED SOILS AND ECOLOGICAL ZONING OF TERRITORIES

¹R. E. Voitenko, ²K. D. Bogoslovsky, ³G. G. Morkovkin

^{1, 2, 3} State University of Land Use Planning, 15 Kazakova St., Moscow, 105064, e-mail:

voitencko.rimma@yandex.ru, kostan.ogc@gmail.com, ggmork@mail.ru

In recent years, the problem of soil degradation has increased due to an increase in anthropogenic pressure on the ecosystem. The phytoindication method makes it possible to identify soils subject to degradation, assess the degree of negative impact and conduct ecological zoning of territories according to the degree of impact in order to identify areas most severely affected by anthropogenic impact.

Keywords: Soil cover, degradation, bioindication, phytoindication, levels of phytotoxicity, anthropogenic load, ecosystems, pollutants

Метод фитоиндикации является бюджетным и простым методом, который позволяет выявить зоны деградации почв с повышенной концентрации загрязнителей и получить данные, необходимые для нормирования допустимой нагрузки на экосистемы разных типов, обладающих различной устойчивостью к действию внешних факторов.

Главным образом, фитоиндикация – одно из практических использований различных признаков и свойств отдельных растений или растительных сообществ и их комплексов для получения качественной характеристики среды. Таким образом можно определить зоны, где почвы подвергаются деградации, определить источник негативного влияния и область его воздействия.

В данном случае метод используется для обнаружения фитотоксичности почв через интенсивность нарастания корневой и наземной биомассы растения-индикатора.

Для экологического зонирования территории методом фитоиндикации потребуется создать сеть опробирования, подобно используемой в геохимических методах поисков. Предлагается разбить исследуемую область на участки с равной площадью. Чем меньше области, на которые разбита исследуемая территория, тем более точными будут результаты зонирования и более наглядными результаты.

Далее в каждом квадрате проводится отбор почвенных образцов в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019. В отобранную почву необходимо посадить семена растения-индикатора – листовой салат латук.

Замер интенсивности прорастания корневой и наземной биомассы растения проводится на 3, 6 и 9 день с момента посева семян. На основании полученных данных рассчитывается показатель фитотоксичности.

Фитотоксичность – свойство загрязненной почвы подавлять прорастание семян, рост и развитие высших растений.

Фитотоксичность оценивается на основании сравнения всхожести и энергии прорастания семян. Градация оценки фитотоксичности была проведена по четырем группам:

1. <20% – фитотоксичность не проявляется; всхожесть семян при проведении исследований достигает 90-100%.
2. 20-40% – слабая фитотоксичность; всхожесть семян составляет 60-90%. Проростки почти нормальной длины, крепкие, ровные.
3. 40-60% – средняя фитотоксичность; всхожесть семян составляет 20-60%. Проростки по сравнению с контролем короче и тоньше. Некоторые проростки имеют уродства.
4. >60% – сильная фитотоксичность; всхожесть семян очень слабая (менее 20%).

Проростки мелкие и уродливые.

Фитотоксичность почв рассчитывается по формуле:

$$\Phi = \frac{(d_{p.k} - d_{p.э})}{d_{p.k}} * 100\%$$

где $d_{p.k}$ – длина ростка на контроле, $d_{p.э}$ – длина ростка на экспериментальном участке.

При использовании данной формулы можно определить уровень и оценить степень фитотоксичности почвенного покрова исследуемой территории.

В результате измерений исследователь получает три показателя фитотоксичности: за 3, 6 и 9 день. Для получения конечного результата фитотоксичности необходимо взять среднее значение от этих трех и определить, к какой области градации относится территория. В таблице 1 представлена характеристика территории по степени её фитотоксичности.

После проведенная оценки полученных образцов из каждогоследуемых участков и определения их характеристики по уровню фитотоксичности, можно дополнить результаты графическим отображением материалов, например, присвоения определенного цвета исследуемой области в зависимости от степени фитотоксичности или отображение результатов в виде 3D-модели.

В качестве примера исследования и зонирования будут приведены результаты экспериментальных исследований ТЭЦ, участка МКАД и промышленного объекта (кондитерского завода) на территории города Москвы. Данные по фитотоксичности на 9 день в зависимости от расстояния от объектов исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета фитотоксичности на 9 день

	Расстояние от объекта Загрязнения (м)	Длина ростка (см)	Фитотоксичность (%)
ТЭЦ	5	1,6	72
	50	2	66
	100	2,5	57
	500	3,1	47
	1000	3,3	43
Промышленный объект	50	3,5	61
	500	3,7	47

	1000	4	31
МКАД	5	2,4	65
	50	3	50
	100	3,3	43
	500	3,7	27
	1000	4,2	20
	1100	4,7	17

Как видно из таблицы, граница зоны высокой и средней фитотоксичности находится на расстоянии 100 метров от ТЭЦ и с увеличением расстояния продолжает снижаться. Для промышленного объекта граница зоны высокой и средней фитотоксичности находится на расстоянии примерно 100 метров. Граница зоны средней и слабой фитотоксичности находится на расстоянии 750 метров от объекта загрязнения. На рисунке 1 представлен результат зонирования территории вблизи МКАД в зависимости от удаленности от объекта.

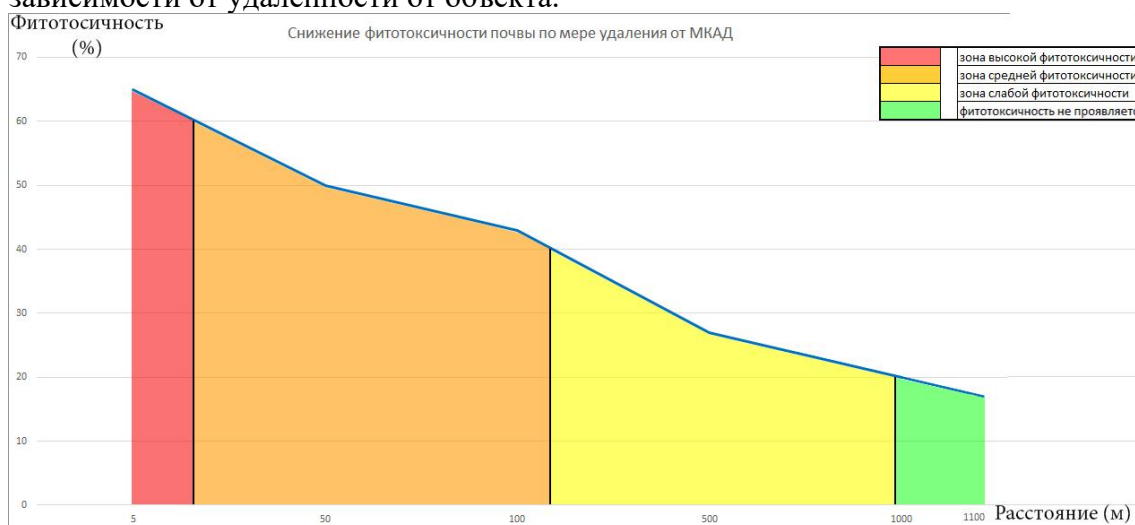


Рис. 1 Снижение фитотоксичности по мере удаления от МКАД

Как видно из графика, граница зоны высокой и средней фитотоксичности находится на расстоянии примерно 20 метров. Граница зоны средней и слабой фитотоксичности находится на расстоянии 200 метров от объекта загрязнения, а зона, где фитотоксичность не проявляется начинается на расстоянии 1000 метров от автодороги.

Таким образом метод фитоиндикации позволяет без существенных экономических затрат, довольно просто определить зоны, где почвы наиболее подвержены деградации, дать качественную характеристику среды и провести экологическое зонирование территории, выделив 4 категории в зависимости от степени загрязнения в результате техногенной нагрузки.

Преимуществами метода фитотоксичности является его высокая наглядности и понятности при проведении исследования. Использование фитотоксичности позволяет:

- выявлять зоны, где почва подвержена деградации
- выявлять загрязнение почвы токсичными веществами, которые могут негативно влиять на рост и развитие растений;
- определять степень загрязнения почвы по реакции растений-индикаторов;
- оценивать пригодность почвы для выращивания определенных видов растений;
- провести зонирование территорий в зависимости от степени загрязнения, в том числе в результате техногенной нагрузки.
- разработать меры по улучшению состояния почвенного покрова и восстановлению его плодородия.

Таким образом можно сказать, что данный метод экологического мониторинга является долгосрочной интегральной оценкой фитотоксичности. С помощью метода биоиндикации почвы можно получить качественный результат влияния как техногенных, так и природных процессов на экосистемы и окружающую среду в целом. Также была приведена методика проведения экологического зонирования территорий по уровню фитотоксичности. Было рассмотрено как метод фитоиндикации позволяет в короткие сроки и без крупных экономических вложений получить наглядную характеристику исследуемой территории и состояния её почв. Метод фитоиндикации позволяет выявить компенсирующие мероприятия по восстановлению почвенного покрова и сохранению плодородия почв.

УДК 631.417.2

ДИНАМИКА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕРОЗЕМНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОГО АРАНА (АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

Джафарова С.Ф., д.ф.а.н,

Гянджинский государственный университет, Азербайджан, г.Гянджа, sevdaceferova1971@mail.ru

Концепция, связанная с охраной окружающей среды, наряду с указами о промышленном и аграрном развитии страны, нашла отражение в ряде государственных решений и постановлений в области экологии. К таковым относятся: Указ Президента Азербайджанской Республики от 28 ноября 2000 года об утверждении Положения о государственном контроле над использованием и охраной почв; Указ от 28 сентября 2006 года О комплексном плане мероприятий на 2006–2010 годы по улучшению экологического состояния Азербайджанской Республики; а также Государственная программа по рациональному использованию летних и зимних пастбищ Азербайджанской Республики и предотвращению опустынивания. Изучение динамики окислительно-восстановительного режима проводилось с использованием индикаторных электродов типа ЭЕПЛ-01 М, постоянно погружённых в почву, в трёх повторностях по горизонтам профиля (0–25, 25–50, 50–75 и 75–100 см). В качестве электрода сравнения применялись хлорсеребряные электроды типа ЭВЛ-1МЗ. Электрод сравнения устанавливался непосредственно перед измерениями на расстоянии 10–15 см от индикаторного электрода. Электродвижущая сила, возникающая между электродами, измерялась переносным иономером И-102. Динамика ОВП при вегетационных поливах хлопчатника определялась указанным методом по следующим периодам: до полива, через 3–5 и 10 дней после полива, а также осенью. В периоды измерений одновременно определялись: естественная влажность почвы (образцы отбирались в трёхкратной повторности с последующим высушиванием в течение 5–6 часов при $t = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$) и температура почвы. Последняя измерялась на глубинах 5, 10, 15 и 20 см термометром Саввинова, а на глубинах 40, 60, 80 и 100 см — почвенно-вытяжными термометрами.

Литературные данные свидетельствуют о существовании определённых пределов колебаний Eh почв в зависимости от условий их формирования. Считается, что при потенциале выше 750 мВ наступает состояние полного аэриоза, тогда как при потенциале ниже 200 мВ происходит интенсивное развитие восстановительных процессов. По мнению И. С. Кауричева и Д. С. Орлова, классификация ОВ-режимов и разработка количественных градаций ОВ-потенциала применительно к решению генетических и производственных задач почвоведения является сложной задачей. Поиск количественных градаций затрудняется природной вариабельностью значений ОВ-потенциала и их зависимостью от погодных условий. Значительное внимание этой проблеме уделяли такие исследователи, как Д. С. Орлов, А. Р. Джиндип и И. С. Кауричев. А. В. Захарченко подчёркивает, что ОВ-условия антропогенно изменённых

почв просек существенно трансформируются в процессе регенерации почв нарушенного биогеоценоза. С возрастом профиля элювиального резектозёма наблюдается нарастание оглеенности верхней части и окисленности нижней. К числу слабо изученных в отношении ОВ-режима относятся почвы Azerbaijan. Этой проблеме в Azerbaijanе уделяли внимание С. А. Алиев, Р. В. Веселкина, В. Г. Гасанов, а также Б. Т. Мусаев. Исследования проводились на сероземно-луговых почвах Саатлинского района Azerbaijanа, расположенного в северной части Муганской степи, входящей в Кура-Аразскую низменность. Район граничит: на западе — с рекой Араз и Мильской равниной, на востоке — с Сальянской, на севере — с рекой Курой и Ширванской Равниной.



**Рис.1. Карта-схема
расположения Саатлинского района (Северная Мугань)**

На территории региона каспийские отложения перекрываются аллювиальными отложениями Куры и Араза, мощность которых достигает 10–20 м и постепенно уменьшается с запада на восток. Поверхность Северной Мугани в общем виде представляет собой обширный лоток, приподнятый в тыловой части и по краям, открытый к юго-востоку, в сторону Каспийского моря. Рельеф местности преимущественно равнинный, абсолютные отметки изменяются от –10 м до 200 м над уровнем моря.

Климат Мугани сухой субтропический. Л. С. Берг относил его к климату нетропических пустынь, а В. Р. Волобуев отмечал, что климат данного массива обусловлен переходным характером и с наибольшим основанием может быть определён как субтропический полупустынный с жарким сухим летом. Среднегодовая температура воздуха составляет 14,1 °С; средняя температура самого жаркого месяца (июль–август) — 26,3–26,5 °С, самого холодного месяца (январь–февраль) — 1,5–2,0 °С.

Среднегодовое количество атмосферных осадков в Мугани составляет 246 мм и редко превышает 300 мм, причём основная их часть приходится на осенне-зимний период. Годовая испаряемость достигает 960–1000 мм, относительная влажность — 62–81 %.

В формировании грунтовых вод Кура-Аразской низменности принимают участие различные источники питания, как речные воды и воды оросительных систем, высоконапорные воды, конденсационные воды, воды коренных пород предгорий, атмосферные осадки, ливневые воды со склонов предгорий, воды артезианских скважин, кягризов, родников и карасу. Из всех источников питания грунтовых вод конденсационные воды и атмосферные осадки являются региональными, остальные источники питания – локальными. Сотрудниками Института Почвоведения и Агрохимии Министерства науки и образования Azerbaijanской Республики в экономическом районе Центральный Аран выделено 11 типов почв: 1.

Окультуренные горно-серо-коричневые, 2.Орошаемые серо-коричневые, 3. Серо-бурые, 4. Орошаемые серые, 5. Лугово-сероземные, 6. Орошаемые лугово-сероземные,, 7. Аллювиально-луговые, 8. Орошаемые аллювиально-луговые, 9. Лугово-болотные, 10. Болотные, 11. Солончаки.

На исследуемой территории мощность окультуренного слоя сероземно-луговой почвы составляет 35-40 см, а мощность пахотного слоя – 22-25 см. Цвет гумусового слоя почвы светло-серо-бурый, мощность его 30-35 см, величина гумуса 1,3-1,8%, и по градации, относится к малогумусным.

Площадка под агрофитоценозом хлопчатника относится к ирригационно-промывному типу комплексного увлажнения, что и предыдущая, влажность которой изменяется под влиянием атмосферных осадков, ирригационных и грунтовых вод, а также под влиянием зимних влагозарядковых поливов, которые составляют немалую часть к увлажнению почвы. Как и на предыдущих площадках, наибольшие значения влажности почвы приходятся на весенний период, но с несколько более высокими значениями влажности, чем на предыдущих площадках. Срединные значения влажности почвы в этот период по профилю изменяются в пределах от 26 до 36%. Влажность почвы в летний период характеризуется относительно низкими значениями, по сравнению с предыдущей площадкой. В первый год влажность почвы по профилю изменялась в пределах от 10,9 -16,8%. Высокие значения влажности почвы во второй год, которая варьирует в пределах от 21,5 до 30,4%, не типична для этого периода, наши наблюдения совпали с послеполивным периодом, что и отразилось на результате. Летний период 3-го года характеризуется почти теми же значениями влажности почвы, что и первый год. Осенний период характеризуется повышенной влагонасыщенностью почвы, что вызвано увеличением в этот период количеством атмосферных осадков. В среднем в осенний период влажность почвы по профилю изменяется от 19 до 27%. Резюмируя результаты анализа режима влажности орошаемых сероземно-луговых почв Северной Мугани следует заключить, влажность почвы варьирует в относительно высоких пределах, что играет немаловажную роль в ходе современного почвообразования и непосредственно отражается на росте и развитии сельскохозяйственных культур. Как известно, между температурой воздуха и почвой существует тесная связь. С изменением температуры воздуха изменяется и температура почвы. Целью наших исканий является выяснение общих закономерностей отношения между температурой почвы в слое 0,5 м к температуре приземного слоя воздуха, поскольку температура почвы в слое 0,5 м является оптимальным показателем теплового состояния корнеобитаемого слоя. В результате исследований выявлено, что температура почвы в слое 0,5 м по своим значениям близка к температуре почвы в слое 0,2 м. Далее исследование между температурой почвы в слое 0,5 м и температурой приземного слоя воздуха показали их прямолинейную тесную зависимость. Следовательно, с большей вероятностью о температуре почвы в слое 0,5 м можно судить по значениям температуры прилегающего слоя воздуха. В течении трехлетнего периода, по метеорологическим данным, самым холодным месяцем оказался январь (среднемесячная температура воздуха 1,6⁰C), самым теплым- июль (среднемесячная температура воздуха 26,4-28,5⁰C), при этом абсолютный максимум температуры поднимался в отдельные дни до 36,8-38,7⁰C.

Участки хлопчатника характеризуются почти одинаковыми значениями температуры почвы как по сезонам года, так и по профилю почвы. Так, средние значения в поле под хлопчатником в весенний период колеблется в пределах 15,0-12,0⁰C, в летний период 29-25⁰C, осенью 15-19⁰C и в зимний период 2,5-8,5⁰C. В пшеничном поле температура почвы в весенний период изменяется в пределах 15-10⁰C, летом 30-23⁰C, осенью 14-19⁰C и в зимний период 2,5-8,5⁰C. Изучив характерные особенности температурного режима орошаемых сероземно-луговых почв Северной Мугани, можно сказать, что исследуемые почвы по температурному режиму относятся к непромерзающему типу.

Для автоморфных сероземных почв, как и для каштановых почв сухой степи, характерно господство обстановки; окислительные потенциалы не опускаются

обычно ниже 450-500 мВ. Поле, занятое под хлопчатником характеризуется более низкими значениями Eh. Наиболее низкие значения наблюдаются в весенний период первого года, где Eh изменяется в пределах от 445 до 390 мВ; в среднем за три года в весенний период изменяется от 450 до 400 мВ. Летний период характеризуется повышением значений Eh, в среднем за три года Eh изменяется от 590 до 450 мВ, в осенний период наблюдается медленный спуск значений Eh, который в среднем изменяется в пределах от 540 до 440 мВ; в зимний период ОВ- потенциал в среднем за три года по профилю почвы изменяется в пределах от 480 до 400 мВ.

Известно, что с динамикой влажности почвы связаны условия аэрации, т.е. динамика важнейшего фактора развития окислительных процессов-свободного кислорода. Этим определяется главная сторона влияния степени увлажнения почвы на ее окислительно-восстановительное состояние, что хорошо выявлено в описанной выше динамике ОВ-потенциала по полю. Поэтому представляет интерес выявление количественных зависимостей значений ОВ-потенциала от величины влажности почвы. В проведенном статистическом анализе выявлено, что значения окислительно-восстановительного потенциала находятся в тесной корреляционной связи с величиной влажности исследуемых почв. При проведении исследований, направленных на определение оптимальных ОВ-условий при вегетационных поливах хлопчатника, были приняты три площадки с различным числом и нормами поливов (без орошения; вариант 1 — 5700 м³/га; вариант 2 — 4700 м³/га; вариант 3 — 3700 м³/га). В дополивной период в первом варианте значения ОВ-потенциала колебались по профилю почвы в пределах от 590 до 415 потенциал находится без изменений. По мере подсыхания почвы уже на десятый день полива наблюдается повышение значений потенциала по всему метровому профилю почвы, которые изменяются в пределах 570-325 мВ, соответственно повысилось и rH2, который изменяется в пределах 32,5-26,5, т.е. уже на десятый день наблюдается приближение значений потенциала к значениям дополивного периода. Всего было проведено пять поливов, при остальных четырех поливах наблюдается та же картина изменения ОВ-потенциала по профилю почвы, с некоторым понижением потенциала в нижних горизонтах к четвертому и пятому поливам. В осенний период после сбора хлопчатника наблюдается повышение значений ОВ- потенциала по профилю почвы. Во втором варианте, как и при первом, в дополивной период значения ОВ-потенциала колеблются в довольно высоких пределах по профилю почвы от 610 до 440 мВ, rH2 изменяется от 36,4 до 30,6 мВ. На данном варианте прослеживается такой же ход динамики изменения значений потенциала и в послеполивные периоды с некоторой разницей в цифровых значениях. И на этом варианте, как и на предыдущем, минимальные значения, причем наиболее низкие значения потенциала наблюдаются в нижних горизонтах почвенного профиля после третьего, четвертого и пятого поливов. В осенний период вновь прослеживается повышение значений ОВ-потенциала по профилю почвы.

В третьем варианте наблюдается такая же картина распределения значений ОВ-потенциала по профилю почвы, что и на предыдущих вариантах. Только при третьем поливе, где было подано наибольшее количество поливной воды, что не наблюдалось ни на одном из вариантов, ОВ- потенциал резко понизился по профилю почвы и изменялся в пределах от 460 до 190 мВ, rH2 изменяется в пределах 29,2-20,4 мВ. Грунтовые воды в этот период находились у метровой отметки и выше. Высокая влагонасыщенность после третьего полива отразилась на значениях ОВ- потенциала при четвертом поливе, где перед поливом потенциал изменяется в пределах 495-295 мВ, rH2 изменяется в пределах 32,5-25,4. После полива здесь также идет снижение значений потенциала и дальнейшее повышение по мере подсыхания почвенного профиля. В данном варианте было проведено четыре полива, в то же время как и на двух предыдущих- пять. В связи с этим мы провели наблюдения на двадцатый день

после четвертого полива: оказалось, что в этот период ОВ- потенциал находится в более высоких пределах, чем на предыдущих вариантах. ОВ- потенциал в этот период изменяется от 625 до 465 мВ, гН₂ от 36,2 до 31,1.

Анализ проведённых наблюдений показал, что при пяти вегетационных поливах в первом и втором вариантах в нижних горизонтах почвенного профиля вплоть до осеннего периода формировались неблагоприятные ОВ-условия, характеризующиеся относительно низкими значениями потенциала. Урожайность хлопчатника при этом составила: на первом варианте — 27 ц/га, на втором — 29 ц/га. В третьем варианте, где проводилось всего четыре полива, в послеполивной период значения ОВ- потенциала находились в относительно высоких пределах, что способствовало формированию более высокой урожайности хлопчатника — 33 ц/га.

Таким образом, результаты наблюдений показали, что в условиях Северной Мугани наиболее благоприятные ОВ-условия при возделывании хлопчатника обеспечиваются при проведении четырёх вегетационных поливов с общей нормой 3700 м³/га при средней за вегетационный период влажности почвы на уровне 73 % от предельно полевой влагоёмкости.

УДК631.43

К ВОПРОСУ О РОЛИ ЖЕЛЕЗА В ДИАГНОСТИКЕ СТЕПЕНИ ОГЛЕЕНИЯ ТЕМНОГУМУСОВЫХ ПОЧВ СКЛОНОВ СЕВЕРНЫХ УВАЛОВ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Иванов А.В., Тюгай З., Шваров А.П., Никифорова А.С., Бутылкина М.А., Аймалетдинов Р.А. Факультет почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, e-mail:

anton.soil@mail.ru

Известно, что железо занимает третье место по содержанию в почвах среди других элементов и, обладая способностью менять валентность и свойства, определяет направление почвообразования, типовые и подтиповые особенности многих почв. Железо определяет различную окраску почв, обусловленную степенью его гидратированности и, отражает, различия почв по водному режиму. Цель нашего исследования - рассмотреть морфологические признаки и диагностировать степень гидроморфизма интразональных темногумусовых почв склонов Северных Увалов Костромской области. Исследования были проведены на северо-востоке Костромской области, в Пыщутском районе, где почвы, формирующиеся на триасовых отложениях, имеют наибольшее распространение. В соответствии с геологической картой масштаба 1: 300000, этот район расположен в пределах контура выхода на поверхность отложений триаса. Район исследования находился в четырех километрах на север от г. Пыщуг. В прилегающей к лесу части склона, в 100 м. по трансекте, с шагом 20 м было заложено 4 разреза, последовательно характеризующих транзитный и транзитно-аккумулятивный ландшафты пологого склона юго-восточной экспозиции. (табл.1).

Таблица 1. Основные характеристики объектов исследования в системе транзитно-аккумулятивного ландшафта.

Объект	Тип растительности	Название почвы
Разрез 1	Ельник зеленомошник	Темногумусовая среднесуглинистая на делювии триасовых отложений
Разрез 2	Край леса	Темногумусовая среднесуглинистая на делювии триасовых отложений
Разрез 3	Заболоченный осоково-таволговый луг на старой пашне	Агрозем темный легкоглинистый на делювии триасовых отложений

Разрез 4	Злаковый луг на старой пашне	Агрозем светлый легкоглинистый на элювии триасовых отложений
----------	------------------------------	--

Доминирующими почвообразующими породами территории Северных Увалов являются флювиогляциальные и ледниковые отложения. Естественная дренированность возвышенных ландшафтов предполагает формирование автоморфных дерново-подзолистых почв. Однако в местах выхода на поверхность элювия триасовых отложений тяжелого гранулометрического состава формируются интразональные темно-гумусовые почвы с явными признаками гидроморфизма. Мы придерживались гипотезы о том, что в данных условиях естественная дренированность территории Северных Увалов играет второстепенную, подчиненную роль в генезисе темно-гумусовых почв. И на первый план выходят физические и водно-физические свойства почвообразующих пород: элювия отложений триаса, которые и будут определяющими в формировании профиля почвы. Морфология изученных почв схожа по некоторым параметрам. Все они имеют темно-серый хорошо оструктуренный гумусовый горизонт мощностью до 30 см с небольшим слоем дернины сверху (до 8-10 см). Под гумусовым горизонтом залегает непосредственно почвообразующая порода, зачастую с морфологическими признаками переувлажнения и процессов оглеения. Так, в профиле разреза Р1 наблюдается сизая с железистыми пятнами окраска нижнего горизонта С_g. В горизонте АU разреза Р2 темногумусовой почвы обнаружено большое количество ортштейнов различного размера и твердости, а также сизые прослой и рыжие пятна ожелезнения в нижней части горизонта С. Разрез Р3 агрозема темного выделяется большим количеством железисто-марганцевых примазок по профилю, а также сизыми пятнами и прослоями горизонта С_g, имеющего творожистую структуру. Исследуемые почвы относятся к категории среднесуглинистых по гранулометрическому составу. Обращает на себя внимание, что реакция среды близка к нейтральной: рН водной вытяжки колеблется от 6,12 – до 6,46, а солевой вытяжки – 5,01-5,85. Отмечается очень высокое содержание общего углерода в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте темногумусовой почвы под лесом -17,8 % и высокие значения красных углов смачивания - > 90°. И в этом же горизонте наблюдается самое высокое значение общей удельной поверхности по воде и невысокие значения внешней удельной поверхности по азоту.

Следует отметить утяжеление гранулометрического состава в оглеенном горизонте С_g разреза 1 по сравнению с неоглеенной породой горизонта С. Увеличение содержания физической глины в оглеенном горизонте на 6-10% по сравнению с неоглеенной породой свидетельствует о застойно-промывном водном режиме этих почв. Под действием оглеения происходит растворение и вынос оксидов железа, гуматов-веществ склеивающих элементарные почвенные частицы (ЭПЧ) в микроагрегаты. В агроземах тоже присутствует эффект утяжеления почв в оглеенных горизонтах. Однако в почве разреза 4 этот эффект выражен в меньшей степени. Различие почв по гранулометрическому составу в пределах профиля и в катене в целом определило дифференциацию по некоторым физическим свойствам: полевой влажности, плотности сложения, фильтрации. Повышенная полевая влажность поверхностных горизонтов почв под лесом обусловлена их органогенной природой. В минеральных горизонтах почв исследуемой катены физические свойства в некоторой степени нивелированы, хотя и несут отпечаток процесса глееобразования. Известно, что критерий Швертмана используется для количественной характеристики степени гидроморфизма почвы и равен отношению относительного содержания оксалаторастворимого железа – аморфных соединений к общему количеству несиликатного железа. Чем выше значение критерия Швертмана, тем выше степень гидроморфизма почвенного материала. В темногумусовой почве (р.1) на глубине 10-25 см наблюдается минимальное содержание валового железа (таблица 2), при этом

полностью отсутствуют окристаллизованные формы (критерий Швертманна близок к 1), что свидетельствует об элювиировании этого элемента. В темногумусовой почве (р.2) верхняя часть профиля также обеднена железом, на глубине 60-70 см критерий Швертманна также близок к 1, а максимальное содержание железа приходится на глубины 70-90 см. На этих же глубинах обнаружено максимальное содержание окристаллизованного железа, что косвенно свидетельствует об иллювиировании железа из верхней части профиля. Минимальное содержание валовых форм железа обнаружено в середине профиля (30-70 см) агрозема темного (р.3), что подтверждает морфохроматические признаки оглеения. Почти все несиликатное железо в этой части профиля состоит из аморфных форм (критерий Швертманна близок к 1). В агроземе светлом (р.4.), наблюдается довольно равномерное распределение всех форм железа по профилю, что может свидетельствовать об одинаковых условиях увлажнения всего профиля. Максимальное для этого разреза значение критерия Швертманна 0,7 приходится на нижнюю часть профиля. Каких-либо закономерных изменений приведенного критерия Швертманна ($Fe_o: (Fe_d - Fe_o)$) в ряду исследованных почв не наблюдается. Можно отметить, что в разрезах 1-3 максимальное значение критерия Швертманна соответствует минимальному значению физической глины: в р.1 на глубине 10-25; в р. 2- на глубине 8-25 см; в р.3. - на глубине 30-50 см. А в 4 разрезе 4 наблюдается более равномерное распределение содержания физической глины по профилю и нет явных максимумов значений критерия Швертмана. Согласно критерию Швертмана, темногумусовая почва под лесом (р.1) относится к подтипу слабооглеенной, темногумусовая почва на краю леса (р.2) к глееватой, а агроземы (разрез 3 и 4) оглеенному по всему профилю

Таблица 2. Групповой состав соединений железа в изученных почвах (Fe, %)

Горизонт	Глубина, см	Валовое	Несиликатное Fe_d (по Мера-Джексону)	Окристаллизованное $Fe_d - Fe_o$	Аморфное Fe_o (по Тамму)	К над чертой $Fe_o: Fe_d$, под чертой $Fe_o: (Fe_d - Fe_o)$
Темногумусовая, р. 1						
O	0-10	2,29	0,50	0,29	0,21	0,41/ 0,71
AU	10-25	1,44	0,36	следы	0,36	≈ 1
C1	25-30	2,62	0,24	0,01	0,23	0,98/23
	30-50	3,48	0,54	0,32	0,22	0,41/0,69
C2	50-70	4,34	0,68	0,42	0,26	0,39/0,63
Cg	70-80	4,64	0,33	0,12	0,21	0,62/1,61
	80-90	3,95	0,36	0,21	0,15	0,43/0,43
	90-100	3,39	0,13	0,03	0,10	0,78/3,2
Темногумусовая, р.2						
O	0-8	1,46	0,32	0,13	0,19	0,58//1,3
AU	8-25	2,03	0,39	0,02	0,37	0,95/17
Cg	25-50	2,11	0,48	0,24	0,24	0,50/1,00
	50-60	3,28	0,38	0,17	0,21	0,55/1,22
	60-70	3,2	0,17	следы	0/17	≈ 1
	70-80	4,13	0,64	0,47	0,17	0,27/0,28
	80-90	5,32	1,00	0,73	0,27	0,27/0,37
Агрозем темный, р.3						
PU	5-10	2,09	0,40	0,23	0,17	0,43/0,75

	10-30	2,17	0,43	0,07	0,36	0,85/5,5
Cg	30-70	1,20	0,11	следы	0,11	≈1
	70-80	3,42	0,70	0,38	0,32	0,46/0/0,84
	89-90	3,57	0,32	0,06	0,26	0,8/4,03
Агрозем светлый, р.4						
PU	5-23	2,89	0,56	0,30	0,26	0,46/0,43
C	23-64	3,49	0,45	0,30	0,15	0,33/0,49
Cg	64-70	3,13	0,33	0,19	0,14	0,42/0,71
	70-80	2,35	0,27	0,08	0,19	0,70/2,33

На основе полученных данных: по содержанию валового железа и соотношению аморфного (оксалаторастворимого) железа к общему несиликатному (критерий Швертмана) и учитывая отсутствие в профиле собственно глеевого горизонта в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России (2004) изученные почвы охарактеризованы как темногумусовые глееватые. Мы придерживаемся точки зрения, что наличие признаков гидроморфизма, отмечаемые в профиле исследованных почв можно расценивать как обусловленные застоем почвенно-грунтовых вод в ранневесенний период.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

УДК 631.416

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ CU В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ ЛЕСОСТЕПИ

Иовчева А.Д.¹, Пинский Д.Л.¹, Семенов И.Н.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Россия, Пущино, e-mail: y_nastia@mail.ru, pinsky43@mail.ru

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: semenkov@geogr.msu.ru

Медь является одним из приоритетных поллютантов и относится к элементам 2 класса опасности. Cu обладает двумя противоположными свойствами. С одной стороны, она необходимый для нормального развития живых организмов микроэлемент. С другой стороны, при высоких концентрациях Cu проявляет токсическое действие. Высокая природная вариабельность содержания Cu в почвах, часто превышающая как установленные нормативы, так и региональный фон, усложняет оценку экологического состояния конкретного объекта. Кроме того, существующий норматив по содержанию биодоступных форм Cu в почве представлен лишь одной подвижной формой – 3 мг/кг, в отличие от ОДК, значение которого зависит от pH и гранулометрического состава. Таким образом, норматив по подвижным формам не учитывает различия в устойчивости почв к загрязнению Cu. Кроме того, в настоящее время отсутствует единая стратегия оценки уровня содержания Cu, выше которого появляется опасность проявления токсических свойств металла, а также его транслокации из почв в сопряженные природные объекты. Целью исследования является сравнительная оценка устойчивости почв разных генетических типов к различным уровням загрязнения ацетатом меди. При выполнении работы опирались на действующий в нашей стране норматив допустимого содержания подвижной формы Cu в почвах (СанПиН 1.2.3685-21), а также на используемый за рубежом фактор подвижности (MF). Объектами исследования служили гумусовые горизонты 4 различных типов почв лесостепной зоны: серая почва (AEL, Серпуховской район МО), а также почвы Барабинской равнины – чернозем квазиглееватый (AU), солонец темный квазиглеевый (SEL), гумусово-квазиглеевая засоленная (HAU_s).

Искусственное загрязнение почв проводилось в рамках сорбционного эксперимента. Медь вносили в виде хорошо растворимой соли – ацетата меди (Cu(OAC)₂·2H₂O. Для изучения фракционного состава и устойчивости почв к загрязнению использовали образцы с

внесенными дозами металла 200 и 2000 мг/кг (количество поглощенной Cu в образцах превышало 95%).

В выбранных образцах одновременно экстрагировали подвижные формы Cu, ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с pH=4,8 ($F_{ААБ}$), согласно СанПиН 1.2.3685-21, а также использовали метод последовательных селективных экстракций (Tessier, 1979). Выделены фракции (таблица 1): F1 – обменная, F2 – кислоторастворимая (извлекает как связанные с карбонатами, так и специфически сорбированные формы), F3 – связанная с (гидр)оксидами Fe и Mn, F4 – связанная с органическим веществом, F5 – остаточная. Содержание Cu в вытяжках определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе “АAnalyst 400” фирмы PerkinElmer (США) в ЦКП ПНЦБИ РАН. Содержание Cu в остаточной фракции определяли как разность между общим ее содержанием и содержанием во фракциях F1-F4. Следует отметить, что для извлечения обменных форм Cu (F1) был использован в качестве экстрагента ацетат натрия (NaOAc) с pH = 8, а затем NaOAc с pH=5,0 для F2. Это связано с тем, что по суммарной экстрагирующей способности эти реактивы должны быть ближе к ААБ с pH=4,8, который используется в определении ПДК подвижных форм Cu в России. Соответственно, было сопоставлено количество биодоступной Cu, извлеченной по разным схемам. Суммарное содержание Cu в F1 + F2 характеризуется как «биодоступное» в англоязычных источниках и часто служит для расчета MF, который представляет собой отношение наиболее подвижных фракций (обменной – F1 и кислоторастворимой – F2, извлеченных последовательно) к общей сумме всех фракций, выраженной в процентах. Величина MF используется для оценки риска транслокации металлов в сопредельные среды. Если $MF \leq 10\%$, то экологические риски очень малы. При $MF \leq 30\%$ риск миграции металла в сопредельные среды – средний. Если $MF > 30\%$, то риск транслокационного загрязнения оценивается как высокий.

Показано, что в нативных почвах общее содержание Cu и ее биодоступных соединений ($F_{ААБ}$) ниже установленных нормативов (таблица 1). Основная доля (>50%) металла приходится на остаточную фракцию, то есть прочно связана с силикатными минералами. В черноземе квазиглееватом и особенно в гумусово-квазиглеевой засоленной почве значительна также доля Cu, связанной с органическим веществом, что, по-видимому, связано со свойствами последнего. Концентрация подвижной Cu в вытяжках F1 и F2 из почв Барабинской равнины близка к нижнему пределу обнаружения прибора (0,05 мг/л), поэтому сложно сопоставить количество биодоступных форм, экстрагированных по схеме Тессье и $F_{ААБ}$. MF для нативных почв варьирует от 0,3% в солонце темном квазиглеевом до 18% для серой почвы. Высокий MF для серой почвы может указывать на ее малую буферную способность в совокупности с возможностью достаточного обеспечения растений Cu за счет средней биодоступности.

Таблица 1. Распределение Cu по фракциям и содержание биодоступных форм

Горизонт	Общее содержание Cu, мг/кг	F _{ААВ} , мг/кг	Содержание Cu во фракциях, мг/кг				
			F1	F2	F3	F4	F5
Образцы исходных почв							
AEL	17	0,3	2,0	1,0	2,0	1,9	10,1
AU		0,1	0,2	0,1	0,8	3,5	12,4
HAU _s	26	1	<0,1	0,2	1,3	9,0	15,4
SEL	25	0,2	<0,1	<0,1	0,2	1,6	23,2
Образцы почв, загрязненных 200 мг/кг							
AEL	213	107,7	5,7	43,8	89,1	55,6	18,7
AU	216	39,6	1,6	4,1	50,9	100,0	59,7

HAU _s	224	32,3	0,7	4,5	13,1	153,9	52,1
SEL	218	29,5	0,4	3,3	19,6	123,2	71,5
Образцы почв, загрязненных 2000 мг/кг							
AEL	1855	-	178,1	693,5	752,2	151,8	79,9
AU	2010	-	69,4	507,9	825,6	406,4	200,3
HAU _s	2023	105	4,8	317,3	593,9	1053,7	53,1
SEL	2007	75	36,8	332,0	764,3	649,1	224,8

При уровне загрязнения более 200 мг/кг ($ОДК_{Cu}=132$ мг/кг для нейтральных суглинистых почв) норматив по подвижный Cu для всех почв оказывается превышен более чем в 10 раз (Таблица 1). При этом для почв Барабинской равнины суммарное содержание F1 и F2 составляет менее 6 мг/кг, и только для серой почвы составляет несколько десятков мг/кг. Таким образом, несмотря на предположение о том, что основное действие ацетатных вытяжек - это формирование комплексов с ионами меди и растворение веществ, подвижных при слабокислом pH, процесс обработки почвы ААБ и реактивами F1+F2 по схеме Tessier имеют разную экстрагирующую способность. Так как у иона аммония, в общем, не наблюдается преимуществ перед ионом натрия в вытеснении Cu, причиной различий, по-видимому, выступает концентрация ацетат анионов. (Хотя есть предположения о большем сродстве некоторых слоистых силикатов и вермикулита к ионам аммония). В схеме Tessier используются 1М растворы ацетата натрия. В тоже время концентрация ацетатов в ААБ, который используется для нормирования в России, равна примерно 2 моль/л, то есть в два раза выше. В совокупности с высокой устойчивостью ацетатных комплексов Cu это приводит, по-видимому, к извлечению достаточно прочно закрепленных соединений Cu (связанных с (гидр)оксидами Fe и Mn, органическим веществом или глинистыми минералами). В тоже время оценка величины MF (<10%) для загрязненных 200 мг/кг Cu почв Барабинской лесостепной равнины указывает на низкий риск миграции поллютантов в сопредельные среды. Для серой почвы превышению российского норматива по подвижным формам Cu соответствует средний транслокационный риск. С экологической оценкой по MF согласуется и изменение доли Cu, связанной с разными почвенными компонентами. При данном уровне загрязнения в почвах Барабинской равнины основная часть Cu прочно связывается органическим веществом (максимальное увеличение в F4), некоторое количество осаждается (гидр)оксидами Fe и Mn (F3). Доля остаточной фракции снижается, но в совокупности малодоступные в естественных условиях соединения Cu (F4+F5) в этих почвах продолжает составлять более 70%. В тоже время в серой почве доля малодоступных соединений (F4+F5) составляет < 50%. Это подтверждает вывод о более низкой устойчивости серой почвы к загрязнению ионами меди, сделанный еще при анализе исходных, незагрязненных почв. Однако отличия в буферности почв по отношению к загрязнению Cu невозможно отразить с помощью действующих российских нормативов, что предполагает возможность их пересмотра с целью учета свойств разных почв при принятии допустимых уровней содержания металлов. По-видимому, более высокая буферность почв Барабинской равнины объясняется более высоким содержанием в них органического вещества и его составом, а также иным минералогическим составом. При уровне загрязнения более 2000 мг/кг не для всех почв был определен пул Cu, извлекаемой ААБ. Однако, в любом случае наблюдается превышение существующего норматива. Как в серой почве, так и в почвах Барабинской равнины очень сильно увеличивается содержание кислоторастворимых форм Cu. Оно возрастает в сотни раз (по сравнению с уровнем загрязнения ≈ 200 мг/кг) для лесостепных почв и в десятки раз для серой почвы. Суммарное содержание биодоступных форм (F1+F2) во всех исследуемых почвах превышает 300 мг/кг при данном уровне загрязнения (таблица 1). Доля малодоступных (F4+F5) фракций в почвах становится < 50%, причем в основном за счет

критического уменьшения доли прочносвязанных форм. То есть происходит превышение предела буферной емкости всех исследуемых почв и увеличивается риск миграции Си в другие компоненты ландшафта, что подтверждается также ростом величины MF. Фактор подвижности Си при уровне загрязнения приблизительно 2000 мг/кг для почв галогенного ряда составляет менее 20%, чернозема – 29%, а для серой почвы – 47%. Следовательно, риск миграции подвижных форм Си в грунтовые воды и передвижения по пищевым цепям для почв Барабинской равнины – средний, а для серой почвы – высокий.

Таким образом, фракционный анализ состава почв показал, что основная доля Си в нативных почвах, по-видимому, находится в форме неизвестных прочносвязанных соединений, а для гумусово-квизиглеевой солончаковой почвы и чернозема – также в составе малорастворимых соединений с органическим веществом почв. Засоление и осолонцевание почв Барабы, по-видимому, не определяет худшую, по сравнению с черноземом, буферную емкость почв галогенного ряда. Какими бы не были механизмы поглощения Си их твердой фазой, они обладают высокой буферной емкостью и способны сохранять свои протекторные свойства до уровня загрязнения Си, составляющего примерно 200 мг/кг. В то время как серая почва оказывается менее устойчивой к загрязнению Си, чем почвы Барабинской равнины. При уровне загрязнения в 2000 мг/кг во всех исследуемых почвах возможен риск транслокации Си в сопряженные с почвами элементы ландшафта.

УДК 633.72:631.816:631.445.35 (470.62)

ТЕМПЫ ДЕГРАДАЦИИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ МНОГОЛЕТНИХ АГРОЦЕНОЗОВ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ЭКСТЕНСИВНОЕ ВОЗДЕЛЫВАНИЕ В СУБТРОПИКАХ РОССИИ

Козлова Н.В.

Субтропический научный центр Российской академии наук (ФИЦ СНЦ РАН), Сочи, e-mail: kozlovanvagro@yandex.ru

Обеспечение и поддержание необходимого уровня почвенного плодородия, рациональное применение удобрений особенно актуальны при возделывании многолетних сельскохозяйственных культур. Важнейшей промышленной культурой влажно-субтропического региона России (Черноморское побережье Западного Кавказа) является чай (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze). Закладка чайных плантаций была начата здесь в 1930-40-х годах, основные массивы высажены в 1950-60-х, а небольшие площади освоены в середине 1980-х (новым интенсивным сортом Колхида). В итоге общая площадь эксплуатируемых чайных насаждений достигла 1 600 га. Многие годы успешное возделывание чая обеспечивалось интенсивным применением минеральных удобрений (от 100 до 300-500 кг д.в./га азотных, до 100-150 кг д.в./га фосфорных и калийных). На пике развития чаеводства (1970-80-е годы) ежегодный валовый сбор чайного сырья составлял более 7 000 тонн, а производство готового чая – около 2 000 тонн. С середины 1990-х годов при общем спаде в сельском хозяйстве и отрасли чаеводства, сокращении площадей эксплуатируемых плантаций, и применение удобрений перестало носить системный характер. Периодически небольшими дозами удобряются отдельные участки, имеет место полный отказ от удобрений под эгидой производства чая под маркой органического продукта. Все это привело к общей деградации уникальных для страны субтропических агроценозов чая, падению их продуктивности и истощению ранее сформированного почвенного плодородия. В настоящее время стоит задача по возрождению чаеводства, восстановлению и системной эксплуатации плантаций, которые при хорошем уходе способны многие десятилетия сохранять жизнеспособность и достаточно высокую продуктивность.

Научное сопровождение отрасли чаеводства осуществлялось специалистами ФИЦ СНЦ РАН на всех этапах её существования, в том числе в вопросах управления плодородием почв, эффективных и безопасных систем удобрения чая. Многолетние мониторинговые

исследования на базе полевого многофакторного опыта с NPK-удобрениями (16 вариантов, № 023 в реестре Географической сети опытов РФ), заложенного с первых лет после посадки плантации (1983 г., сорт Колхида) позволили изучить динамику показателей почвенного плодородия в ходе формирования и развития модельных агроценозов чая, в зависимости от применяемых видов и доз удобрений в период 1986-2011 гг. С 2012 года (при продолжении эксплуатации плантации) внесение удобрений в опыте было прекращено, что позволило оценить длительность их последствий (или его отсутствие) и темпы деградации почвенного плодородия, сформированного длительным применением удобрений, при переходе на экстенсивное возделывание. Почва опытного участка – бурая лесная кислая, наиболее широко используемая в регионе под чай; место расположения – окрестности пос. Уч-Дере (Лазаревский р-н г. Сочи).

В активную фазу опыта наглядно проявилась большая или меньшая эффективность различных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений в повышении уровня обеспеченности почвы гумусом и азотом, фосфором и калием, в изменении её кислотно-основных свойств, а также продуктивности чайных плантаций. Анализ изменения количественных параметров плодородия почв модельных чайных плантаций в последующий период продолжительной отмены удобрений в опыте, показал, что темпы деградации почвенного плодородия при экстенсивном возделывании чая столь же высоки, как и темпы его повышения на фоне удобрения. Основные параметры повышения и деградации плодородия почв чайных плантаций при длительном применении NPK-удобрений и последующей их отмене в опыте обобщенно представлены в сводной схеме (рис.).

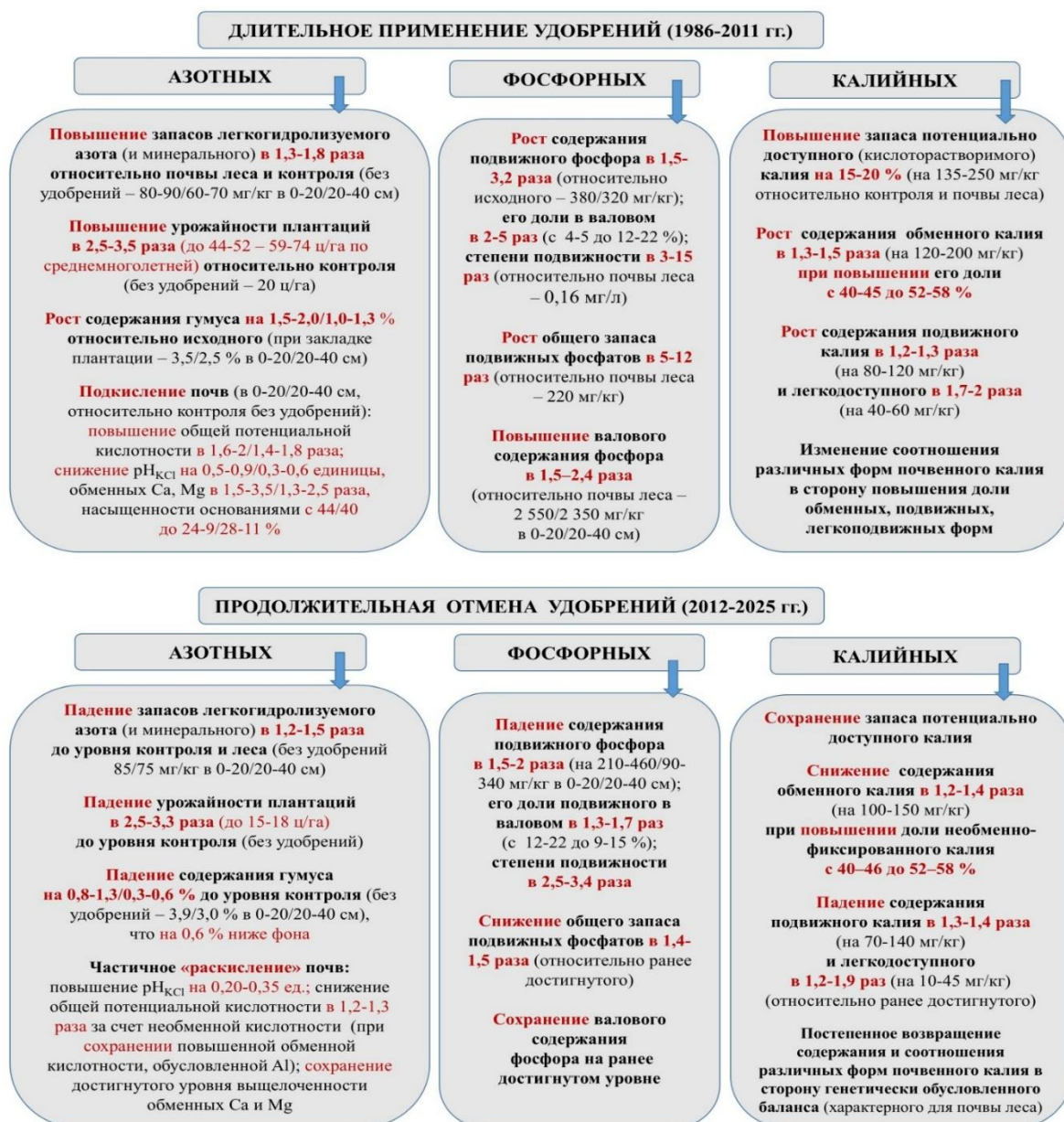


Рис. Основные параметры повышения и деградации плодородия почв чайных плантаций при длительном (26-лет) применении NPK-удобрений и последующей (> 10 лет) их отмене

Так одинарные, двойные и тройные дозы азотных удобрений в период их применения составляли соответственно: 70-90, 140-180 и 210-270 кг д.в./га – на молодой плантации; 120-200, 240-400 и 360-600 кг д.в./га – на полновозрастной плантации. В итоге за 26 лет опыта всего было внесено 3,8-7,6-11,4 тонн N/га соответственно). В течении первых 10-12 лет азот удобрений в первую очередь расходовался на наращивание общей биомассы формирующихся шпалер чая и лишь отчасти на поддержание азотного запаса почвы. Происходило некоторое снижение исходного уровня содержания легкогидролизуемого азота (сформированного окультуриванием перед посадкой плантации), что проявлялось в большей или меньшей мере на фоне одинарных или двойных-тройных доз (без азотных удобрений его уровень опустился в 1,5-2 раза); затем уже на взрослой плантации последовало его постепенное накопление. В итоге, в результате применения 1-2-3-х доз азота уровень азотной обеспеченности достиг 110-140-160/90-110-120 (в слоях 0-20/20-40 см) и превысил контроль без удобрений в 1,5-2 раза – соответственно на 30/30, 65/50 и 75/55 мг/кг, а естественный уровень почвы леса – в 1,3-1,7 раза. Содержание легкогидролизуемого азота в среднем росло со скоростью 1,0-2,3-3,3 мг/кг в год (на фоне

1-2-3-х доз N) или на 6 мг/кг на каждую внесенную тонну азота. При этом в его составе росла доля минеральных форм (до 52-70 % по сравнению с 40-45 % на контроле). Регулярное внесение азотных удобрений обеспечило в 2-3 раза более высокую среднесуточную урожайность плантаций (от 44-52 до 59-74 ц/га) в сравнении с не удобряемыми азотом (20-29 ц/га). Большие объемы органических остатков и включение азота в состав органоминеральных соединений почвы способствовало постепенному обогащению её гумусом, особенно активно в первые 12-15 лет с последующей стабилизацией на более высоком уровне. На каждую тонну внесенного азота содержание гумуса в среднем росло на 0,2 %. В итоге оно повысилось на 1,5-2,0/1,0-1,3 % по сравнению с исходным (3,5/2,5 % при закладке плантации), а общий запас увеличился на 29,7-41,0/18,8-28,5 т/га (в 0-20/20-40 см). Однако накопление шло за счет вновь образованного слабо гумифицированного материала (преимущественно гумина) и подвижных гумусовых кислот (фульвокислот). Повышение количества органических кислотных компонентов и регулярное поступление кислотных компонентов удобрений привело к подкислению почв: pH_{KCl} снизился относительно контроля (без удобрений) в среднем на 0,45-0,85/0,25-0,55 единицы (в слое 0-20/20-40 см); общая потенциальная кислотность выросла на 10-17/6-14 смоль(экв)/кг (или в 1,6-2,0/1,4-1,8 раза) за счет обменной (обусловленной алюминием) и необменной кислотностей, которые повысились в 2,2-3,0/1,7-2,5 и 1,5-1,8/1,2-1,5 раза. Изменение pH на 0,1 единицы при внесении 1-2-3-х доз азота шло в среднем за 5-4-3 года; на каждую тонну азота pH_{KCl} снижалось в среднем на 0,07-0,10 единицы. В результате выщелачивания обменных оснований содержание $Ca+Mg$ снизилось в 1,5-3,5/1,3-2,5 раза, а степень насыщенности ими почвы снизилась в 2-5/1,5-3,5 раза (до 24-9/28-11 % относительно 44/40 % без удобрений). В результате консервации опыта с отменой удобрений обеспеченность почв азотом начала быстро снижаться: за 3-4 года до одинаково низкого везде уровня по минеральному (нитратный и аммиачный) азоту, с сохранением выраженного доза-зависимого эффекта последствия азотных удобрений по легкогидролизуемому азоту; за 8-10 лет и содержание легкогидролизуемого азота снизилось везде (в 1,2-1,5 раза) до уровня близкого к естественному под лесом. В отношении урожайности чая эффект последствия азотных удобрений отсутствовал уже через 2-3 года; в отсутствие легкодоступного растениям азота удобрений и снижении потенциально доступных запасов в почве ранее высокопродуктивные плантации показали одинаково низкий уровень урожайности (в среднем 14,8-17,9 ц/га). В результате падения объемов органических остатков, изменения условий гумусообразования, минерализации гумина и выноса мобильных гумусовых веществ, содержание гумуса снизилось на 0,8-1,3 % и стабилизировалось везде на уровне контроля (что ниже фона на 0,6 %). Потеря общего запаса гумуса почвами составила 14,5-26,5/4,0-11,0 т/га (в слоях 0-20/20-40 см). С ней связана убыль части легкогидролизуемого азота, ранее иммобилизованного в органо-минеральных соединениях и различных фракциях органического вещества. Темпы дегумификации оказались столь же высоки – 8-10 лет до стабилизации на одинаково низком уровне, как и темпы накопления гумуса – 12-15 лет до стабилизации на более высоком уровне. В отсутствии новых поступлений кислотоопределяющих компонентов из физиологически кислых удобрений, а также сокращении органических кислотных компонентов произошло частичное раскисление почв, что для ацидофильной культуры чая можно расценивать как деграционное изменение уровня плодородия (при этом как положительный признак самовосстановления почвы). Снижению общей потенциальной кислотности (в 1,2-1,3 раза или на 4-6/3-4,5 смоль(экв)/кг) шло за счет снижения необменной кислотности, пропорционально ранее применявшимся дозам азота; без изменений обменной кислотности и насыщенности основаниями. Темпы раскисления (повышение pH_{KCl} в среднем на 0,20-0,35/0,15-0,25 единицы за 10 лет) сопоставимы с темпами подкисления (снижение pH на 0,1 единицу за 3-5 лет, в зависимости от доз N). В результате длительного применения 1-2-3-х доз фосфорных удобрений (60-120-180 кг

д.в./га, всего внесено 1,6-3,2-4,8 тонн P_2O_5 /га) исходный уровень содержания подвижных фосфатов (380/320 мг/кг при закладке опыта в слое 0-20/20-40 см) был превышен в 1,5-3,0-3,2 раза (на 300-750-830/150-450-520 мг/кг), а естественный (80-100/60-80 мг/кг в почве леса) в 5-10-13 раз. В среднем скорость повышения составила 80-300-400 мг P_2O_5 /кг за 10 лет внесения 1-2-3-х доз (с резким ростом в первые 5-7 лет на фоне 2-3-х доз); на каждую тонну внесенного фосфора содержание выросло в среднем на 250-300 мг/кг (в 0-20 см). При этом обеднение почвы контрольного варианта (без удобрений) происходило со средней скоростью 70 мг/кг за 10 лет; в итоге снижение относительно исходного было 1,5-2-кратным. Валовое содержание фосфора увеличилось по сравнению с естественной почвой леса (2 450 - 2 650/2 300 - 2 400 мг/кг) в среднем в 1,6-2,0-2,4/1,5-1,8-2,3 раза; доля подвижного P_2O_5 в валовом увеличилась в 2-5 раз (с 4-5 до 10-16 и 20-22 %), а степень подвижности фосфатов выросла в среднем в 3-10-15 раз относительно фона (0,16 мг/л). Общий запас подвижного фосфора составил от 1 180 до 2 650 мг/кг, что превышало фоновый уровень (220 мг/кг) в 5-9-12 раз.

Отмена фосфорных удобрений привела к 1,5-2-кратному снижению содержания подвижных фосфатов, на фоне последействия 1-х доз оно вернулось к исходному (380/320 мг/кг при закладке), а на фоне последействия 2-3-х доз все ещё превышало его в 1,5-2,2 раза. Снижение за 10-лет в среднем составило 210-460/90-340 мг/кг (в слоях 0-20/20-40 см). Валовое содержание фосфора существенно не изменилось (что связано со способностью изучаемых почв поглощать и фиксировать поступающий фосфор), при этом доля подвижных фосфатов снизилась в 1,3-1,7 раза (с 12-22 до 9-15 %), в связи с переходом в более труднодоступные соединения. Степень подвижности фосфатов снизилась в 2,5-3,4 раза: до фонового уровня в последействии 1-ных доз, но пока все еще превышая его в 3-4,5 раза в последействии 2-3-ных доз. Общий запас подвижного фосфора сократился в 1,4-1,5 раза (на 360-650-700 мг/кг, соответственно), все еще значительно превышая фон (в 3-4 раза – последействие 1-ных доз P-удобрений, в 6-9 раз – последействие 2-3-ных доз).

Формирование уровней калийной обеспеченности почв зависело не только от применявшихся доз калийных удобрений (50-100-150 кг д.в./га; всего внесено 1,3-2,6-3,9 тонн K_2O /га при 1-2-3-х дозах соответственно), но и от сочетания их с дозами азота, определявших урожайность чая и вынос элементов питания (в т.ч. калия), а также подкисление почв и повышение подвижности элементов (в т.ч. калия). В целом за счет подвижного динамического равновесия между различными формами калийного комплекса содержание подвижного калия продолжительное время поддерживалось на относительно постоянном уровне, близком к характерному для почвы леса (350-400 мг/кг). Это затрудняло диагностику истощения даже при явном дефиците калия в вариантах с моноазотным удобрением, где на фоне повышенной кислотности длительно поддерживался уровень подвижного и легкодоступного калия, а истощение было выявлено по снижению запасов обменно- и необменно-фиксированного калия (в 1,3 раза). При длительном внесении двойных и тройных доз калийных удобрений в сочетании с умеренными дозами азотных удобрений в итоге в почвах было повышено содержание подвижного (в среднем на 80-120 мг/кг или в 1,2-1,3 раза) и легкодоступного калия (в 1,7-2 раза); при этом был отмечен рост потенциально доступного калия (в среднем на 15-20 %) преимущественно в обменной форме (рост в 1,3-1,5 раза или на 120-200 мг/кг), доля которой выросла с 40-45 до 52-58 %.

Отмена калийных удобрений привела к существенному снижению содержания подвижного и легкодоступного калия (в 1,3-1,4 и 1,2-1,9 раза). Общий запас потенциально доступного (кислоторастворимого) калия сохранился примерно на достигнутом уровне, но доля необменно-фиксированной части в нем увеличилась (с 40-46 до 52-58 %) и стала преобладающей над обменной, которая сократилась (в 1,2-1,4 раза). В целом изменения соотношения различных форм калия были направлены на возвращение к характерному для данной почвы.

УДК 631.423

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ КАНДАЛАКШСКОГО АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

Коляко И.С., Глызин Д.А., Украдыженко Д.Е., Голованов Д.Л., Енчилик П.Р.

МГУ им. М.В.Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, Москва, e-mail: daglyzin@gmail.com

Данные собраны в рамках учебной практики второго курса. Помимо авторов в ней также участвовали: Алексеев В.К., Григорьянц А.Д., Лузянин Т.А., Марков Е.А., Минеев В.Е., Нарыжная А.В., Постюк В.И., Шейнгов С.Д.

Почвы являются критически важным компонентом биосферы, выполняющим функции буфера и аккумулятора веществ. Их устойчивость к антропогенному воздействию определяет состояние экосистем и безопасность жизни человека. Одним из наиболее значимых источников локального загрязнения являются предприятия цветной металлургии, в частности, алюминиевые заводы, выбросы которых способны коренным образом трансформировать геохимические свойства ландшафтов. Кандалакшский алюминиевый завод (КАЗ) – единственное в мире предприятие алюминиевой промышленности, расположенное за полярным кругом. Его выбросы, содержащие соединения фтора, бенз(а)пирен, диоксид серы и оксид алюминия, потенциально могут нарушать естественные циклы миграции элементов в уязвимых северотаежных экосистемах Кольского полуострова. Изучение радиального (внутрипрофильного) и латерального (вдоль склона) распределения ключевых показателей – кислотности (рН), общего солесодержания (TDS) и содержания водорастворимого фтора (F^-) – позволяет диагностировать уровень и направленность техногенного воздействия, что имеет фундаментальное значение для оценки экологических рисков и разработки мер по ремедиации нарушенных земель в дополнение к уже существующим исследованиям по оценке влияния КАЗ на окружающую среду.

Целью исследования является оценка влияния выбросов Кандалакшского алюминиевого завода на пространственное (латеральное) и радиальное распределение рН, TDS и водорастворимых соединений фтора в почвах прилегающих территорий.

Задачи исследования заключаются в следующем: сравнить физико-химические параметры почв импактной территории (район КАЗ) с условно фоновыми значениями, характерными для района г. Полярные Зори; выявить аномалии и закономерности в радиальном распределении изучаемых параметров в почвенных профилях района КАЗ; оценить направление и интенсивность латеральной миграции загрязняющих веществ по данным анализа пространственного распределения показателей в почвах; а также объяснить выявленные геохимические аномалии с позиций влияния техногенного фактора и естественных ландшафтных процессов.

Область исследования была разделена на два ключевых участка: импактный, где были заложены катены к северу и югу от КАЗ, и квазифоновый – в районе к югу от г. Полярные Зори, характеризующийся отсутствием мощных промышленных источников загрязнения. Проведена диагностика почв по «Классификации и диагностике почв России» (2004).

Почвенный покров исследованных территорий представлен следующими типами: в автономных позициях рельефа развиты подзолы иллювиально-железистые и подбуры, в транзитных и аккумулятивных подчинённых позициях – подбуры иллювиально-гумусовые оглеенные и торфяно-перегнойные. Всего было изучено 7 почвенных разрезов вблизи КАЗ и выполнено описание катены в Полярных Зорях (5 разрезов). Погоризонтно отобрано 40 (24 у КАЗ) пробы почв, 4 пробы поверхностных вод. Измерения рН и TDS проводились в водной вытяжке (1:5) при помощи рН-метра и TDS-метра соответственно. Содержание фторид-ионов определялось ионометрически фтор-селективным электродом в паре с электродом сравнения.

Распределение изучаемых параметров на фоновой территории подчинено природным факторам. Реакция среды кислая (рН 4.5-5.5) с некоторой нейтрализацией в супераквальной позиции (до рН 5.3-5.6), обусловленным близким залеганием нейтральных или слабокислых грунтовых вод. Латеральное распределение рН демонстрирует закономерную изменчивость: наиболее кислые значения характерны для трансэлювиальных и трансаккумулятивно-супераквальных позиций, что связано с влиянием хвойного опада и промывного водного режима. Содержание легкорастворимых солей (TDS) минимально и незначительно возрастает лишь в супераквальной позиции. Содержание фторидов не превышает 1.1 мг/кг, что значительно ниже ПДК (10 мг/кг). Накопление фтора наблюдается в автономной позиции в нижних горизонтах (до 0.9 мг/кг) и в торфяном горизонте супераквальной позиции (1.1 мг/кг), что объясняется внутрипрофильной аккумуляцией и слабой выщелоченностью – это следы бывшего более интенсивного воздействия завода на большую территорию до установки в 2004 году, оборудования, улавливающего фториды на оксиде алюминия и возвращающего его в производственный процесс. Фоновая территория расположена в 16 км к северу от завода, по направлению преобладающих в зимнее время южных ветров.

В почвах импактной территории (Рис. 1) выявлены устойчивые аномалии, свидетельствующие о техногенном воздействии. Наблюдается тенденция к нейтрализации почвенной среды. В точках, максимально приближенных к заводу (КА-08-25, КА-09-25, КА-15-25), значения рН варьируют в диапазоне 5.4–6.4, что существенно выше, чем на фоновой территории. Более того, выявлены аномалии в радиальном распределении рН. Для фоновых почв характерно закономерное убывание кислотности вниз по профилю. В разрезах импактной зоны эта закономерность нарушена: реакция среды остается относительно постоянной или имеет колебательный характер по всему профилю (напр., КА-08-25: 6.2 – 6.4 – 6.2). Это является прямым свидетельством антропогенного вмешательства, связанного с оседанием щелочных аэрозолей, нейтрализующих естественную кислотность почв.

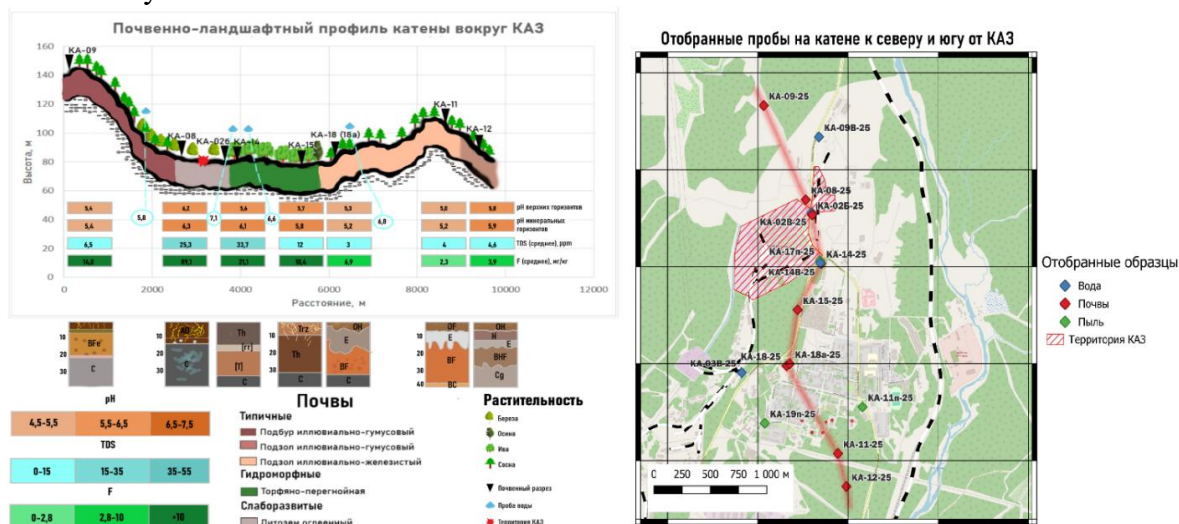


Рис. 1. Катена импактного участка вокруг КАЗ в профиле и в плане

Показатель TDS в почвенных разрезах вблизи завода в несколько раз превышает значения на фоновой территории. Это однозначно указывает на процесс техногенного засоления. Объяснением повышенной засоленности является постоянное осаждение на почвенную поверхность твердых частиц из атмосферных выбросов завода, содержащих растворимые соли. При выпадении осадков эти соли мигрируют вглубь профиля, что и демонстрируют высокие значения TDS.

Несмотря на значительное сокращение выбросов КАЗ в связи с установкой 2004 году оборудования, улавливающего фториды, и активном восстановлении растительности (подрост сосны) к северу от завода, в почвах сохраняется значительное накопленное

воздействие. Оценка опасности выбросов бенз(а)пирена за счет использования устаревшей технологии угольных самообжигающихся анодов нуждается в дополнительном исследовании.

Наиболее значительные изменения зафиксированы по содержанию фторидов. В точках, максимально приближенных к заводу (КА-026-25 – 21.1 мг/кг, КА-08-25 – 89.1 мг/кг, КА-14-25 – 21.3 мг/кг), концентрации фтора превышают ПДК для подвижного фтора (10 мг/кг) в несколько раз. Объяснение столь высокого содержания фтора заключается в том, что фторид-ионы являются одним из основных компонентов газопылевых выбросов алюминиевого производства – источником является криолит. Оседая на земную поверхность, они накапливаются в почвенных горизонтах, создавая реальную угрозу для экосистем из-за высокой токсичности и кумулятивного эффекта.

Есть и морфологически зафиксированное последствие – в среднем сократилась мощность лесной подстилки до 2-5 см в сравнении с 8-10 см, что говорит об изменённых условиях разложения. Также именно в горизонте подстилки наиболее выражены изменения химического состава в связи с поступлением загрязнения с атмосферными выпадениями. Анализ проб поверхностных вод подтвердил гипотезу о латеральном распространении загрязнения. К югу от завода зафиксированы резко повышенные значения TDS (572 мг/л) и концентрации фтора (27.8 мг/л), многократно превышающие ПДК для водных объектов (1.5 мг/л). Это свидетельствует о том, что загрязняющие вещества, выпадающие из атмосферы и накопленные в почвах, вымываются осадками и мигрируют вниз по склону, поступая в реки и ручьи. Таким образом, зона влияния завода не ограничивается непосредственным окружением, а простирается в южном направлении в сторону Кандалакшского залива Белого моря.

Проведенное исследование выявило существенное разнонаправленное воздействие Кандалакшского алюминиевого завода на химический состав почв прилегающих территорий, выражающееся в нейтрализации естественной кислотности, техногенном засолении и чрезвычайно высоком, многократно превышающем ПДК загрязнении соединениями фтора. Нарушение естественного радиального распределения pH в почвенных профилях свидетельствует о глубокой трансформации почвенных процессов под влиянием щелочных аэрозолей. Выявлена латеральная миграция загрязняющих веществ в южном направлении от завода, что подтверждается высокими концентрациями TDS и фтора в поверхностных водах и указывает на расширение зоны техногенного воздействия. Полученные данные подчеркивают критически важную роль почв как депонирующего звена в биосфере, аккумулирующего техногенные выбросы, и указывают на необходимость продолжения мониторинговых исследований и разработки мероприятий по ремедиации нарушенных земель в районе Кандалакши. Территория нуждается в дополнительных исследованиях, актуальными остаются оценка выбросов в атмосферу и поступления в почвы бенз(а)пирена – также вещества I класса опасности, связанного с выбросами алюминиевых заводов с технологиями, используемыми на КАЗ, как и фтор.

УДК631.42

«ИСТИННАЯ» СУЩНОСТЬ ДЕНЕГ В ЭКОНОМИКЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Макаров О.А.^{1, 2, 3}

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, факультет почвоведения; ²МГУ имени М.В.Ломоносова, УО ПЭЦ; ³Аграрный центр МГУ (Евразийский Центр по продовольственной безопасности),

e-mail:oa_makarov@mail.ru

Как известно, деньги проявляют себя через свои функции. Обычно выделяют 5 основных функций денег – деньги как мера стоимости, деньги как средство обращения, деньги как средство платежа, деньги как средство накопления, Мировые деньги. Выполнение различных функций денег в сфере землепользования, в том числе, происходит через

использование стоимостных характеристик земельных участков при осуществлении мероприятий по земельному обороту. При этом, каждый вид стоимости земель по-своему отражает ту или иную денежную функцию. Так, кадастровая стоимость земель, определяющая величину земельного налога (налога на недвижимость) и арендной платы (за государственные и муниципальные земли), должна реализовывать настоящую («истинную») меру стоимости, зависящую от «внутренних» свойств земельного участка (плодородие почв, местоположение, форма участка и т.д.) и не зависящую от конъюнктуры рынка. Рыночная стоимость земель позволяет использовать рассчитанную денежную сумму как средство обращения и средство платежа. Нормативная цена (потребительная стоимость) земель в определенной степени может отражать накопительную функцию денег (этот вид стоимости позволяет переносить покупательную способность из настоящего в будущее, являясь, например, основой для налогообложения при передаче земли по наследству). Ликвидационная и инвестиционная стоимости земель также отражают различные функции денег в экономике землепользования. Функция мировых денег проявляется в тех случаях, когда оцениваются значительные по площади территории.

Проблема проявления указанных функций денег в экономике землепользования осложняется «составным характером» земель. Согласно гл.1 Земельного кодекса РФ, земли и заключенный в их границах природный комплекс могут быть охарактеризованы с позиции их триединого функционирования, состоящего из экологической, ресурсной и социально-экономической составляющих, где:

- экологическая составляющая — природный комплекс компонентов окружающей среды (почвы, атмосферный воздух, водные объекты, животный и растительный мир, недра и др.), сложившийся на территории конкретного земельного участка;
- ресурсная составляющая — компоненты природного комплекса земель, используемые в качестве природных ресурсов;
- социально-экономическая составляющая характеризуется условиями жизни человека и функционированием социума, сложившегося на конкретной территории.

Следовательно, и экономическая оценка земель должна учитывать эти различные составляющие, различные «ипостаси» понятия «земля». Определению сущности денег в экономике землепользования – реализации основных функций денег в ходе совершения главных направлений земельного оборота (пользование, купля-продажа, аренда, передача по наследству, в дар и т.д.) – посвящено настоящее исследование.

Совершенно очевидно, что, так как каждый из основных видов стоимости земель имеет своё назначение, то через эти виды стоимости осуществляются разные функции денег. При этом необходимо учитывать упоминавшийся сложный, составной характер понятия «земля». То есть реализация функции денег происходит не через стоимость земли вообще, а через стоимость определенной составляющей земельного участка.

Например, функция денег как средства обращения (деньги - посредник в обращении товара, в данном случае, - земли) реализуется через социально-экономическую и ресурсную составляющие стоимости земельного участка. При этом, социально-экономическая составляющая возникает здесь потому, что рыночная стоимость как средство обращения определяет условия покупки людьми земельных участков. Ресурсная составляющая возникает потому, что часто (не всегда) в рыночной стоимости заложена ценность компонентов природного комплекса, используемых как ресурсы. Кстати говоря, в полной мере ресурсная составляющая земель рекомендуется при оценке кадастровой стоимости земель (основная денежная функция здесь – мера стоимости).

За последнее десятилетие в законодательных и нормативно-методических документах отражается довольно чёткая тенденция постепенного отказа от разных видов стоимости и переходу только к оценке рыночной стоимости земель (объектов недвижимости). Так, например, Федеральный стандарт оценки определяет кадастровую стоимость как «...установленную в процессе государственной кадастровой оценки рыночную стоимость

объекта недвижимости, определённую методами массовой оценки, или, при невозможности определения рыночной стоимости методами массовой оценки, рыночную стоимость, определённую индивидуально для конкретного объекта недвижимости в соответствии с законодательством об оценочной деятельности...» (пункт 3).

Есть значительная вероятность того, что и для других элементов оборота земель (инвестиционные цели использования объекта оценки, определение стоимости при чрезвычайных обстоятельствах, передачи земельного участка по наследству и др.) взят курс на использование только рыночной стоимости.

С нашей точки зрения, «перевод» всех элементов земельного оборота на «рыночные рельсы» не является оправданным. Очевидно желание инициаторов этого процесса под маркой «унификации» стоимостных характеристик земельных участков просто-напросто поднять величину тех видов стоимости, которые, как правило ниже рыночной (кадастровая, ликвидационная, потребительская) до уровня рыночной стоимости. В тоже время здесь совершенно игнорируется не только тот факт, что у каждого из видов стоимости своё, только присущее ему, назначение, но и то, что виды стоимости различаются по набору реализуемых через них функций денег.

С нашей точки зрения, совершенно очевидно, что важнейшей функцией денег при экономической оценке земель является то, что деньги выступают в качестве меры стоимости земельного участка – показателя стоимости, характеризующего землю как природный ресурс и уникальную экологическую систему. Мера стоимости не должна зависеть от колебаний рынка и спекулятивных операций с земельными участками; она определяет «истинную» ценность участка, обусловленную его внутренними, базовыми характеристиками. Другие функции денег (средство обращения, платежа, накопления) характеризуются волатильностью, изменчивостью, как правило, не связанной ни с почвенным плодородием, ни местоположением, формой участка, ни с рельефом местности и т.д.

То есть, рыночную, потребительную, инвестиционную и ликвидационную стоимости земель можно рассматривать как «составные» экономические характеристики: «обязательную» часть этих видов стоимости занимает кадастровая стоимость (где деньги проявляют себя прежде всего как мера стоимости), а «дополнительные» части (которые чаще повышают, но иногда и понижают общую величину стоимости относительно «обязательной части») назначением того или иного вида стоимости.

Как известно, земельная рента (rent) является доходом, получаемым владельцем земли от арендаторов земельных участков. Земельная рента выступает в форме абсолютной ренты, дифференциальной ренты и монопольной ренты. На самых плохих, с точки зрения плодородия почв и местоположения, земельных участках образуется абсолютная рента.

Если почвы становятся более плодородными, а участок имеет определенные преимущества в своем расположении, - создаётся дифференциальная рента I. Если имеется возможность получить дополнительную прибыль за счет того, что раньше на этом участке применялись капиталы (использовались органические и минеральные удобрения, пестициды и т.д.), то образуется дифференциальная рента II. В тех редких случаях, когда имеется возможность выращивать эксклюзивную сельскохозяйственную продукцию (может быть связано с ограниченным ареалом распространения той или иной культуры растений), создаются условия для получения монопольной ренты.

По мнению академика Д.С.Львова, рента – эта та часть дохода, которая не заработана трудом людей, а предоставлена Богом, или Природой. Поэтому рента – это некий элемент общего достояния общества, и не может включаться в прибыль. Она должна изыматься и использоваться по тем или иным узаконенным правилам для нужд общества в целом.

Налогом может облагаться только прибыль.

Определить ренту довольно сложно из-за отсутствия данных как о рыночной величине прибыли предпринимателя, так и о рыночной величине ренты. Предлагаемые механизмы расчета ренты по неким математическим моделям, в том числе основанным на теории

факторов производства, сводятся к вопросу определения предпринимательского дохода, который предлагается устанавливать по норме отдачи на капитал или по доходу от альтернативных инвестиций (или иным способом).

При расчете стоимости земли через ренту проявление различных функций денег происходит, главным образом, для ресурсной составляющей земельного участка (в значительно меньшей степени – для социально-экономической составляющей и, практически никогда, - для экологической составляющей). Может быть, поэтому – только экономические способы изучения земель «грешат» уже упомянутыми неточностями и неопределённостями. И стоит согласиться с мнением академика Д.С. Львова о важности понимания «природной» («экологической», «божественной») сущности дохода, получаемого от использования земли.

Таким образом, отношение к земле только как объекту недвижимости, широко распространенное в экономике землепользования, совершенно не отражает «многосоставной» сущности земельного участка. Это – и природный ресурс, и экологическая система, и объект, имеющий социально-экономическое значение. В этой связи, проявление различных функций денег в землепользовании необходимо рассматривать не только по отношению к «всему» земельному участку, но и к отдельным его составляющим. Показано, что в стоимости земельных ресурсов важнейшую роль играет та её часть, которая определяется «внутренними» свойствами земель и не зависит от колебаний земельного рынка. При оценке этой («основной») части стоимости, как правило, совпадающей с кадастровой стоимостью земельного участка, в полной мере проявляет себя функция денег как меры стоимости. При расчете стоимости земли через ренту проявление различных функций денег происходит, главным образом, для ресурсной составляющей земельного участка.

УДК 504.054

THE LEVEL OF SOIL POLLUTION IN RESIDENTIAL ZONES OF MURMANSK CITY

Myazin V.A., Vasenev V.I., Sotnikova Yu.L.

RUDN University, Moscow, myazin_va@pfur.ru

The condition of urban soils, which perform key ecological functions - ensuring optimal vegetation development, supporting soil organisms, absorbing pollutants, and maintaining biodiversity - largely determines the quality of the urban environment. However, anthropogenic and technogenic impacts degrade the quality of urban soils. The most common factors affecting soils are chemical pollution, littering, and soil compaction. Urban soils accumulate pollutants from industrial enterprises, transport, agriculture, and waste. Urban soils most often contain elevated concentrations of heavy metals, which pose a threat to both the sustainable development of the urban environment and public health.

To assess metal content in urban soils, pollution indices are widely used. These indices allow for an assessment of the environment state, provide the opportunity to choose a remediation strategy, and develop an action plan to improve soil quality for reduce the negative impact on the population of cities. The study of Arctic and Subarctic urbanized areas requires high attention, since the natural and climatic conditions of the northern territories determine the vulnerability of these areas to anthropogenic impacts, which reduces the environmental safety of northern cities and their attractiveness to the people.

Murmansk's layout and building are determined by its location on hills with significant height changes and the historical development of the areas. The city is located along the Kola Bay and extends for over 20 km, with a width of no more than 3.5 km. Administratively, Murmansk is divided into three districts. The central part of the city (Oktyabrsky district) is dominated by Stalin-era buildings from the 1950s and 1960s. The northern part of the city (Leninsky district) is represented by standard-design 5- and 9-floor panel buildings from the 1960s and 1970s. The southern part of the city (Pervomaysky district) and the eastern part of the Oktyabrsky district are built with standard-design 9-floor panel living buildings from the 1970s and 1980s. Most living

buildings in the city are no more than nine floor tall, although wooden 1- and 2-floor living buildings over 80 years old still remain throughout the city's districts. Urban forests and green spaces occupy approximately half the city's area and are primarily represented by rowan, birch, willow, lilac, bird cherry, and, to a lesser extent, poplar and larch. Natural forest park areas are dominated by birch, willow, and pine trees. The urban soils of Murmansk, formed on well-permeable loose glacial deposits or on outcrops of bedrock, have a light granulometric composition, a low content of organic carbon ($5.92 \pm 0.93\%$) and nitrogen ($0.25 \pm 0.05\%$), as well as a higher pH value (6.20 ± 0.11), compared with background soils of the forest-tundra outside the city ($C = 40.57 \pm 4.28\%$; $N = 1.51 \pm 0.17\%$; $pH = 4.95 \pm 0.55$).

The aim of this study was to assess the degree of soil pollution in residential areas of Murmansk using integral indices, as well as the features of the spatial distribution of pollution.

In residential zones of three districts of Murmansk, 40 soil samples were taken from a depth of 0-10 cm. The pollution level was assessed using the Zc (Total Pollution Index), PLI (Pollution Load Index), NPI (Nemerov Pollution Index), PERI (Potential Environmental Risk Index), calculated on the basis of the total content of heavy metals (Pb, Zn, Co, Cd, Cu, Ni and Mn). Heavy metal contents in soils of Murmansk residential zones are higher than background levels in the majority of samples. Urban soils are primarily polluted with cadmium (0.17-3.88 mg/kg), lead (21.4-664.5 mg/kg), zinc (36.9-491.5 mg/kg), and to a less extent with copper (9.6-87.8 mg/kg) and nickel (26.0-74.9 mg/kg). Moreover, copper, lead, cadmium, nickel, and zinc contents often exceed the APC for soils in populated areas.

Statistical analysis showed a significant positive relationship between the content of Zn and Pb, Mn and Co ($p < 0.001$), Ni and Cu ($p < 0.01$), Cu and Pb, Cu and Zn, Cd and Co, Ni and Co, Cu and Cd, Ni and Cd ($p < 0.05$), which indicates their joint entry and accumulation in the soils.

A significant positive correlation was established between nickel and soil organic carbon ($p < 0.001$) and phosphate ($p < 0.05$) content. A similar distribution character was noted for cadmium ($p < 0.01$), which may indicate the potential accumulation of these elements in the organic matters of urban soils. Furthermore, in automorphic soils, manganese oxides can incorporate Ni and Co into their structure, which is confirmed by the correlations between Mn, Co, and Ni in Murmansk soils. A common feature of humid landscape soils under abundant precipitation, low evaporation, and periods of freezing and thawing in the spring is the formation of ferromanganese nodules, which also actively accumulate Mn, Co, Pb, Cr, Cu, and Cd.

According to the Zc index (varied from 8.4 to 110.6), which characterize the degree of chemical pollution of soils with substances of various hazard classes, 43% of the soils in the surveyed residential zones of Murmansk can be classified as acceptable, 27% as moderately hazardous, and 30% as hazardous.

The Pollution Load Index (varied from 1.8 to 5.5), which is used to assess the degree of complex pollution and indicates the total accumulation of heavy metals, characterize all soils of Murmansk residential zones as polluted ($PLI > 1$).

Based on the Nemerov Pollution Index (varied from 1.5 to 25.3), which takes into account the contribution of each heavy metal, as well as the potential hazard of the pollutant with the highest content, the soils of residential zones are classified as slightly polluted (27%), moderately polluted (33%) and highly polluted (40%).

The Potential Environmental Risk Index, which takes into account the total heavy metal content and toxicity factors for each metal, varied from 85 to 1301. Forty-five percent of the soils had a moderate level of environmental hazard, 24% had a high level of environmental hazard, and 28% had a very high or extremely high level of environmental hazard. Only one soil sample from a residential zones of Murmansk had a low level of environmental hazard.

The coefficients of variation for heavy metal content in the soils of Murmansk residential zones are high to very high, indicating significant heterogeneity in metal distribution. Samples with high heavy metal content and high pollution indices were found in all districts of the city.

The ANOVA test revealed no significant differences in heavy metal content or pollution indices between city districts. However, reliable differences were found between the soils of residential

zones and the background area in terms of zinc, lead, and cobalt content. Despite the lack of significant differences, it is noting that in the southern part of Murmansk (Pervomaysky district), the average lead content (103 mg/kg) was higher than in the central (Oktyabrsky district) (59 mg/kg) and northern (Leninsky district) (42 mg/kg) parts of the city. A trend toward an increase in the Potential Environmental Risk Index, the Nemerov Pollution Index, and the Total Pollution Index was noted in the southern part of the city (Table 1). A higher content of hydrocarbons in the soil was previously noted also for the Pervomaysky district of Murmansk.

Table 1. Average values of pollution indices (Zc, PLI, NPI) and potential ecological risk (PERI) of soils in residential zones of Murmansk

Districts	Pollution indices			Potential ecological risk (PERI)
	Zc	PLI	NPI	
Leninsky (northern part of the city)	19 (moderately polluted)	2.7 (polluted)	3.8 (high polluted)	258 (high)
Oktyabrsky (central part of the city)	26 (moderately polluted)	3.1 (polluted)	5.0 (high polluted)	398 (very high)
Pervomaysky (southern part of the city)	30 (moderately polluted)	2.8 (polluted)	6.6 (high polluted)	461 (very high)
Murmansk				
	25 (moderately polluted)	2.9 (polluted)	5.0 (high polluted)	381 (very high)

At the same time, the ANOVA test revealed a significant relationship between the age of residential development and zinc content, as well as the Pollution Load Index. Soil zinc content and PLI values increase with residential development age, from 73.5 mg/kg and 2.3 (for areas built less than 40 years ago) to 313.9 mg/kg and 3.9 (for areas built more than 80 years ago), respectively.

The study determined the level of soil pollution in residential zones of Murmansk using pollution indices and assessed the spatial distribution of pollution depending on the city's districts and the age of residential buildings. Urban soils are under high stress: according to the total pollution index (Zc), more than half of the soil samples are classified as moderately hazardous or hazardous, while according to the PLI and NPI, all the surveyed soils are classified as polluted (ranging from slightly to highly polluted). The Potential Environmental Risk Index for the residential zones ranges from high to very high. Although no statistically significant differences in heavy metal content or pollution indices were found between city districts, a trend to higher pollution levels is observed in the southern part of the city (Pervomaysky district), while the northern part (Leninsky district) have less pollution. In the Murmansk region, meridional winds (southern and northern) predominate. However, the city's topography, with its significant height changes (from sea level on the Kola Bay coast to 305 meters in the hills), influences the airborne transport of pollutants within residential zones. Furthermore, the age of the buildings had a significant impact on zinc content ($\eta^2 = 0.432$) and the PLI ($\eta^2 = 0.358$). In general, the main sources of soil pollution in residential zones of Murmansk are atmospheric emissions from motor vehicles and energy enterprises, which causes the accumulation of zinc, lead, and cadmium in the soils of residential zones. The sandy composition of the soil and the low content of organic carbon determine the high mobility of heavy metals and their potential ability to migrate horizontally and vertically. The problem solution of soil pollution in Murmansk and other northern cities must be a comprehensive approach with remediation the most polluted areas, creating sustainable soil structures that reduce the mobility and availability of heavy metals, and

choosing a variety of plants to create high-quality green infrastructure within urban areas, taking into account the soil and climate characteristics of the region, as well as the local characteristics of each city.

УДК: 502/504+001.57

ИНФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛЯМ УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Непесов М.Д., Суслова С.Б., Андреева О.В., Лобковский В.А., Лобковская Л.Г.,
Хазиахметова Ю.А.

Институт географии РАН, Москва, muradnepesov@gmail.com

Введение.

Проблемы деградации земель и научный поиск их решения в наше время заставляют пересматривать устоявшиеся практики землепользования и создавать новые механизмы, способствующие развитию устойчивого землепользования (УЗП). Одновременно все большее понимание и развитие получают основные положения концепции экологического почвоведения, выдвинутые выдающимся ученым–почвоведом, академиком РАН Г.В. Добровольским.

На первый план сегодня выдвигается вполне объективная и насущная задача – поиск путей адекватного управления земельными ресурсами, т.е. внедрение положительного опыта практик – методов и технологий УЗП, нацеленных на восстановление истощенных, загрязненных земель, предотвращение новых форм их деградации и достижение нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ). Многочисленные исследования последних лет свидетельствуют, что УЗП формирует один из главных механизмов, способствующих достижению НБДЗ, в свою очередь достижение НБДЗ на конкретных территориях может рассматриваться как эффективное средство оценки результативности практик землепользования, т.е. выступать критерием УЗП. Вместе с тем детальное изучение “успешных” практик показало, что к достижению НБДЗ приводит не любая такая практика или даже их совокупность, а факт установления НБДЗ не всегда свидетельствует об устойчивости землепользования. Отсюда возникает необходимость детальной классификации и типизации информации о существующих практиках и моделях УЗП. Разрозненность описаний, их привязка преимущественно к конкретному месту и отсутствие формализованного подхода к оценке их совокупной эффективности затрудняют систематизацию и тиражирование успешного опыта.

В данной работе представлен разработанный авторами инфологический подход к созданию, систематизации и оценке моделей УЗП с точки зрения устойчивости.

Объекты и методы.

В качестве объектов исследования нами рассматривались практики землепользования, описанные в открытых источниках и в большинстве случаев считающиеся “успешными”. Также использовались личные наблюдения, полученные в ходе полевых работ. Методической основой для анализа практик послужили разработанные нами ранее подходы к типологии землепользования с выделением понятий и категорий “практика”, “модель”, “тип” и “класс” УЗП. Моделью землепользования предложено называть центральный образ совокупности практик и технологий (в отличие от частных местных практик), которые имеют сходные технологические приемы, природные и социально-экономические условия и потенциал, риски деградации земель (включая антропогенные воздействия), возможность и способы достижения нейтрального баланса. Отдельные элементы таких моделей целесообразно характеризовать как “успешные” или “наилучшие” практики, подчеркивая их роль в общей взаимосвязанной и сбалансированной системе землепользования.

Для наглядной оценки и анализа моделей УЗП предлагается использовать лепестковые диаграммы, отражающие вклад разных практик в устойчивость модели в целом через контролируемые ею параметры и цели.

Результаты исследования.

С инфологических позиций практики и объекты землепользования можно представить в виде информационных массивов, которые в результате соотнесения друг с другом образуют новый информационный объект – набор локализованных практик, как элементов модели землепользования. Представление информации о практиках, объектах и локализованных практиках мы предлагаем давать в виде семантических описаний, а итоговую модель – в виде лепестковой диаграммы, наглядно позволяющей оценить устойчивость землепользования. На рисунке представлена инфологическая схема описания модели землепользования.

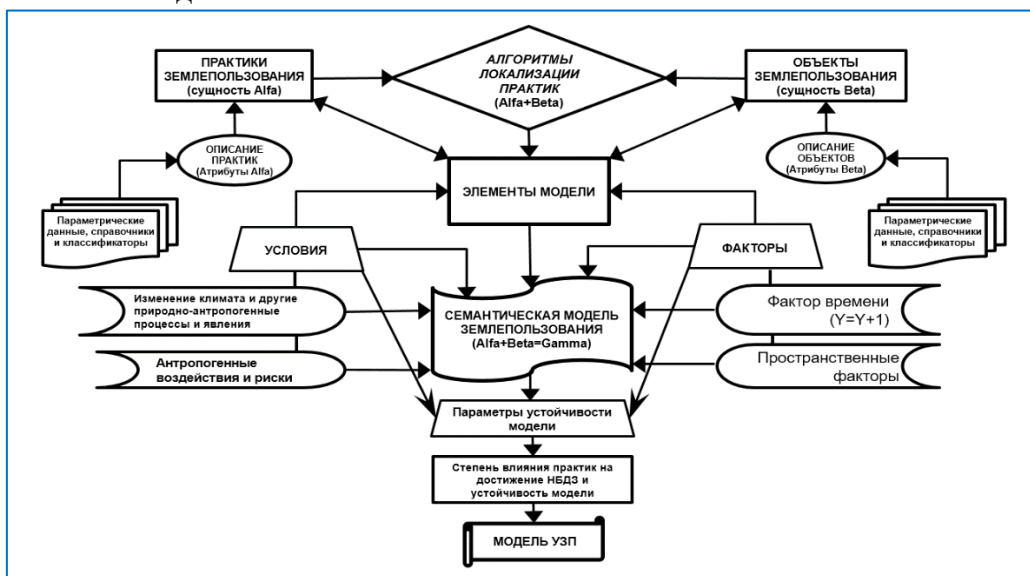


Рис. 1. Инфологическое представление семантической модели устойчивого землепользования

Под единой формой в системе устанавливается, выражаясь инфологическим языком, сущность {Alfa} – информация о практиках землепользования, и сущность {Beta} – информация об объектах, отражающая характер и особенности природной или природно-антропогенной среды, в пределах которой может или должна быть применена практика либо система практик. Данные сущности характеризуются своими атрибутами, задаваемые дескрипторами. Дескриптор – лексическая единица (слово, словосочетание, фраза) для описания основного смыслового содержания сущности. Условное совмещение информационных массивов {Alfa} и {Beta} по сочетаниям их дескрипторов образует новую сущность {Gamma} – формализованное описание локализации практик (системы практик) – информационный массив, состоящий из подмножества двух исходных массивов и включающий только допустимые и эффективные сочетания $\{AB\} \subset \{Alfa\} \times \{Beta\}$. Таким образом, локализация практик землепользования – это методический прием, который позволяет соотнести практики с определенным объектом землепользования или указывает на объекты, в пределах которых эти практики могут быть применены. Формирование множества $\{Gamma\} \in \{\{AB\} \subset \{\{Alfa\} \times \{Beta\}\}\}$ – ключевая задача семантического моделирования. С инфологической точки зрения возникающий в информационном пространстве новый информационный объект представляет собой адаптивную модель землепользования как интегральную совокупность локализованных практик.

Применение разных практик в разных местах неодинаковы во времени, имеют характерные периоды – “время реализации”, в том числе “сроки потери эффективности” в связи с исчерпанием ресурсов, триггерным характером воздействия и т.п. При локализации практик землепользования в дополнении к принципу “необходимости” реализуется дополнительный пространственно-временной “принцип достаточности” или

дополняемости. Модель предусматривает учет фактора времени и влияния внешних факторов, также задаваемых в массиве {Gamma}.

Информация об особенностях и специфике земель в массиве {Beta} позволяет оценить уровень их деградации, в то время как наличие данных по параметрам практик землепользования в массиве {Alfa} предоставляет возможность выбрать наиболее подходящие методы, соответствующие особенностям данной территории, с целью обеспечения устойчивости рассматриваемого ландшафтно-хозяйственного комплекса.

Описание практик и объектов землепользования для дальнейшего их моделирования проводится с применением формализованных классификаторов полей базы данных, специально разрабатываемых для поддержания инфологической схемы. Предлагается описывать практики и объекты землепользования на основе иерархической структуры, включающей три уровня их представления с помощью значений дескрипторов из словарей-справочников, добавляя вербальное описание в виде фасетного дополнения.

На первом (региональном) уровне описываются общие подходы и направления практик по единству признаков этого уровня (например, литотропные, фитотропные, гидротехнические), т.е. отражающие способы и приемы землепользования. Формируемые на этом уровне модели строятся по принципу “цель – отрасль – [макрорегион/общий тип местности]”; пример:

- модель отгонных пастбищ в субальпийских условиях,
- модель орошаемого земледелия на засоленных почвах.

На втором (местном) уровне описания дополняются по единству признаков второго уровня: в качестве практик рассматриваются технологии и методы землепользования, указываются ландшафтные особенности объектов их применения; пример:

- интенсивное растениеводство на богарных черноземах холмистых равнин с использованием технологии прямого посева;
- овоще-кормовой севооборот на солонцеватых почвах западин сухой степи с использованием водосберегающих технологий.

На третьем (локальном) уровне описания включают информацию по единству признаков третьего уровня: указываются мероприятия и действия, вытекающие из технологий и методик, осуществляемые на конкретных земельных участках/местности; пример:

- восстановление (биологический этап) промышленных отвалов горно-обогатительных комбинатов бокситовых руд на горных пологих склонах в подзоне северной тайги с помощью создания насаждений сосны на искусственных почво-грунтах;
- ирригационное овощеводство на дренированных плакорах лесостепных равнин с использованием дождевания.

Стоит отметить, что типология объектов землепользования, базирующаяся на их физико-географическом описании, может включать также информацию, уточняющую их земельно-кадастровые, административно-территориальные границы. Обязательным условием при этом остается соблюдение трехуровневой иерархической структуры.

Вербальное описание на каждом уровне дается без наблюдаемого единства признаков (например, указывается ротация сельскохозяйственных культур, отраженная в технологических картах; состав пород деревьев и способы их посадки при лесомелиорации; особенности оросительного оборудования, режимы полива, минеральный состав оросительной воды при внутрисочвенном орошении и т.п.).

Разработанная инфологическая структура описания семантических моделей УЗП с основными элементами (практики–объекты–алгоритмы локализации) позволяет провести анализ и оценку с точки зрения их устойчивости по ряду признаков/параметров.

Полученные результаты предлагается визуализировать в виде лепестковых диаграмм. С помощью таких диаграмм можно оценить, насколько эффективны отдельные практики в рамках модели, при необходимости – сгруппировать их, а также уточнить параметры

устойчивости в соответствии с целями моделирования и уровнем рассматриваемой модели.

На диаграмме по осям откладываются ключевые параметры устойчивости модели, оцениваемые по пятибалльной шкале. Для моделей регионального уровня используется, как правило, пять генерализованных параметров: неблагоприятные природные процессы и явления (актуальные), неблагоприятные антропогенные воздействия и вызванные ими процессы (актуальные), риск развития деградационных явлений/процессов, природный и/или расширенный потенциал земель, способность к самовосстановлению. Для моделей местного и локального уровней набор параметров устойчивости может увеличиться, как за счет уменьшения их генерализации (например, разделение рисков на природные и антропогенные), так и включения новых (например, достаточность ресурсов и социально-экономических условий, инновационные технологии для расширения потенциала, искусственное поддержание баланса/восстановление и др.).

Каждая практика, входящая в модель, формирует свой многоугольник, показывая, на улучшение каких параметров она направлена. Совокупность всех многоугольников формирует общий контур, площадь которого визуальнo характеризует устойчивость всей модели в целом.

На сегодняшний день апробация алгоритма моделирования УЗП проведена на примере противоэрозионных мероприятий, осуществляемых в различных условиях землепользования (Самарская, Волгоградская обл., Ставропольский край), агролесомелиоративных практик, применяемых в лесостепной зоне (Курская область, респ. Мордовия), вариантов пастбищепользования, практикуемых в горных условиях Кыргызстана. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности предложенного подхода моделирования и способа визуализации УЗП, позволяющие по-новому охарактеризовать практики УЗП и выбрать оптимальные пути решения для достижения устойчивого землепользования.

Выводы.

- В рамках исследования концепций устойчивого землепользования и нейтрального баланса деградации земель предлагается инфологический подход для семантического моделирования землепользования. Инфологический подход дает возможность создать структурированное представление о процессах и сущностях, связанных с землепользованием, что, в свою очередь, способствует более глубокому пониманию взаимосвязей между ними.
- Подход основан на трехуровневой иерархии и формализованном описании моделей через их элементы: практики, объекты и алгоритмы их локализации, что позволяет анализировать и оценивать многообразие практик (в том числе с точки зрения их достаточности и непротиворечивости в применении к конкретному объекту), специфику территорий, учитывать фактор времени, влияния внешних факторов.
- Визуализация с помощью лепестковых диаграмм позволяет перевести качественную оценку устойчивости модели в наглядно оцениваемую форму, обеспечивая возможность обоснованного анализа и адаптации моделей УЗП.
- Представленный инфологический подход для семантического моделирования УЗП применим не только к землям сельхозназначения, но и ко всем другим категориям земель, где наблюдаются процессы деградации.
- Разработанный подход предоставляет научно обоснованный инструмент для систематизации практик и формирования единого реестра (базы данных) моделей УЗП. Актуализация реестра, возможность интеграции в него данных из различных источников и их дальнейшая обработка будет способствовать практической реализации концепции НБДЗ, принятию научно обоснованных управленческих решений в сфере планирования и устойчивого управления земельными ресурсами.

Работа выполнена в рамках темы ГЗ Института географии РАН FMWS-2022-0001: «Пространственные и временные проблемы устойчивого землепользования в контексте глобальных изменений климата».

УДК 631.45, 911.52

КЛАССИФИКАЦИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВ КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ

Никифорова А.А.¹, Флейс М.Э.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail nikifsoil@mail.ru,

²Институт географии РАН, Москва, e-mail fleis.maria@yandex.ru

Научно обоснованная оценка состояния и рационального использования почвенных ресурсов требует целостного представления о разнообразии и географии почв, основанного на их классификации и картографировании. Однако в почвоведении до сих пор отсутствуют базовая (единая, общепринятая) классификационная система почв и согласованные почвенные карты Мира всех масштабных диапазонов, что обуславливает отсутствие иерархической системы принятия решений по устойчивому управлению, охране и оценке почв. Показано, что эти актуальные проблемы классификации и картографирования почв могут быть решены на основе междисциплинарного подхода, включающего прежде всего системный подход и теорию классификации (после преодоления их понятийно-терминологических неопределенностей в необходимых пределах), а также теоретические положения почвоведения и ландшафтоведения и ГИС-технологии.

Применение междисциплинарного подхода к классификации и картографированию почв позволило нам:

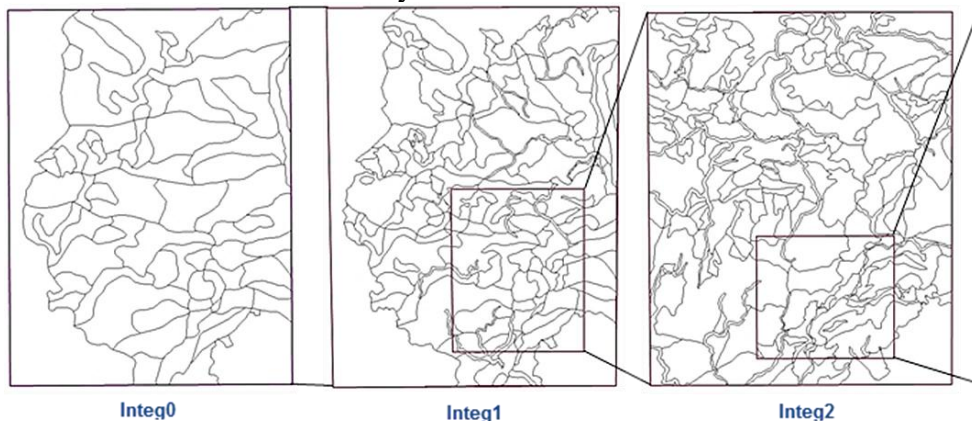
- сформулировать системное определение почв как материальных систем и производных элементов ландшафтов;
- сформулировать системное определение ландшафтов как материальных систем и элементов ландшафтной сферы;
- разработать на примере Европейской части России теоретическую основу и технологию создания концептуальной иерархической базовой почвенно-ландшафтной классификационной системы (далее – ПЛКС) и экспертных мультимасштабных почвенно-ландшафтных карт (далее – МПЛК), классификационной основой которых является ПЛКС;
- показать, что ПЛКС отвечает основным требованиям, предъявляемым к базовой почвенной классификационной системе, и поэтому может рассматриваться в качестве ее прототипа;
- показать, что классификация и картографирование почв являются основой интеграции данных о почвах;
- определить понятие интеграции данных о почвах с позиции системного подхода;
- определить составляющие интеграции данных о почвах, к которым отнесены тематическая, временная, пространственная, географическая, горизонтальная и вертикальная интеграции;
- показать, что данные о почвах включают в себя данные об условиях почвообразования, или свойствах ландшафтов и их основных элементов;
- разработать начальные этапы глобальной интеграции данных о почвах;
- показать, что МПЛК являются основой для мультимасштабных агроэкологических, мелиоративных, оценочных и других прикладных карт;
- показать, что ПЛКС и МПЛК могут служить основой для иерархической системы принятия решений по устойчивому управлению, охране и оценке почв.

Разработанные теоретическая основа и технология создания МПЛК предусматривают создание вручную в среде ГИС согласованных и связанных между собой интегральных полигональных топологических слоев данных по одному для каждого масштабного

диапазона (рис. 1) с целью автоматизированного получения МПЛК различной тематики и оформления.

В настоящее время разработано 21 основание деления почв и ландшафтов, диагностические признаки 65 классов ландшафтов и 65 классов почв и 2 полные классификационные ветви с 8 и 11 уровнями, то есть были достигнуты базовые единицы ПЛКС, представляющие собой однородные классы почв и ландшафтов.

Полные ветви ПЛКС имеют следующий вид:



Масштабные диапазоны интегральных полигональных слоев данных Integ0, Integ1, Integ2, Integ3 и Integ4: 1:60 000 000 – 1:80 000 000, 1:15 000 000 – 1:25 000 000, 1:4 000 000 – 1:10 000 000, 1:1 000 000 – 1:2 500 000 и 1:100 000 – 1:500 000, соответственно.

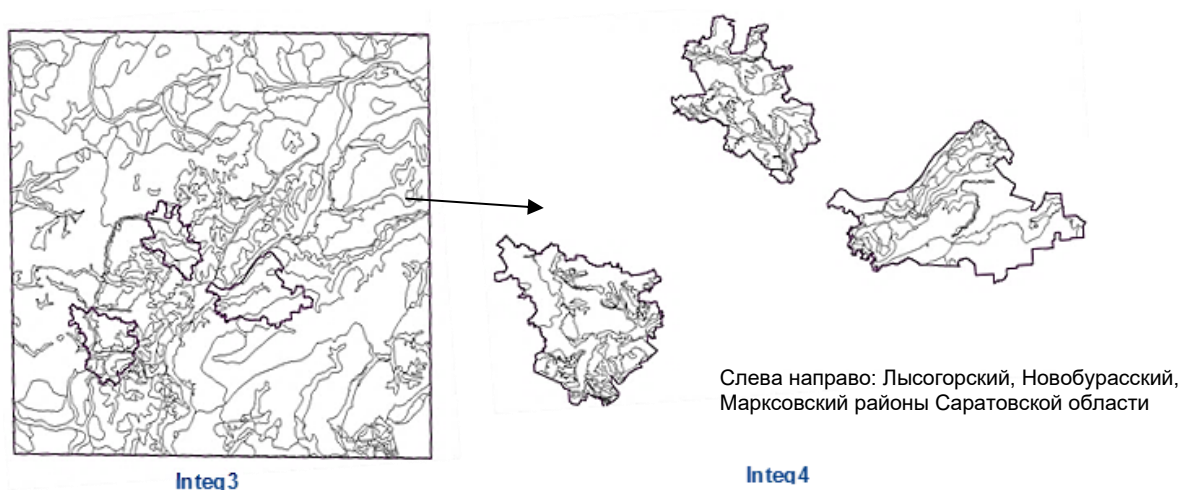


Рис. 1. Связь интегральных полигональных слоев данных последовательного ряда масштабных диапазонов.

- 1) 0 уровень – Исходное множество ландшафтов с почвами и без почв → I уровень – Ландшафты с почвами и без почв со стабильной вертикальной структурой → II уровень – Ландшафты с почвами / Почвы → III уровень – Наземные ландшафты / Наземные почвы → IV уровень – Равнинные ландшафты / Равнинные почвы → V уровень – Опустыненностепные ландшафты / Опустыненностепные почвы → VI уровень – Ландшафты на морских засоленных отложениях / Почвы на морских засоленных отложениях → VII уровень – Ландшафты на глинистых отложениях / Глинистые почвы → VIII уровень – Ландшафты микроповышений / Почвы микроповышений (солонцы);
- 2): 0 уровень – Исходное множество ландшафтов с почвами и без почв → I уровень – Ландшафты с почвами и без почв со стабильной вертикальной структурой → II уровень – Ландшафты с почвами / Почвы → III уровень – Наземные ландшафты / Наземные почвы → IV уровень – Равнинные ландшафты / Равнинные почвы → V уровень – Южно-таежные ландшафты / Южно-таежные почвы → VI уровень – Незаторфованные ландшафты / Минеральные почвы → VII уровень – Неэлювиальные ландшафты / Развитые почвы →

VIII уровень – Покровнолёссовидные ландшафты / Покровнолёссовидные почвы → IX уровень – Легкосуглинистые ландшафты / Легкосуглинистые почвы → X уровень – Ландшафты на двучленных отложениях / Контактно-глееватые почвы → XI уровень – Пологосклоновые ландшафты / Контактно-слабоглееватые почвы.

Следует отметить, что для разработки нижних трех уровней полных ветвей ПЛКС, ввиду отсутствия в нашем распоряжении необходимых картографических источников, нами были использованы данные, опубликованные другими исследователями, содержащие исчерпывающие описания свойств всех элементов ландшафтов и их взаимосвязей. Дальнейшая разработка ПЛКС требует создания многопользовательской иерархической онлайн информационной системы, которая позволит, в том числе, привязывать к классам почв разного рода дополнительную информацию, например, сведения об их рациональном использовании и оценке. Первые две версии такой информационной системы уже были созданы и протестированы, но в настоящее время по объективным причинам не работают.

УДК 631.4

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЁМОВ ЮГА РОССИИ

Решоткин О.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, e-mail: reshotkin@rambler.ru

Климат является одним из важнейших почвообразователей. Как динамическая система, он подвержен флуктуациям. При анализе изменений климата наряду с температурой воздуха большое значение имеет температура почвы – один из основных элементов почвенного климата. Тренды температуры почвы более стабильны, чем тренды температуры воздуха, поскольку почва, особенно её нижние горизонты, обладает большей тепловой инерцией и медленнее реагирует на краткосрочные изменения погоды по сравнению с приземным слоем воздуха. Это делает температуру почвы более объективным индикатором долгосрочного изменения климата.

Как отмечали Г.В. Добровольский и Г.С. Куст, почва вследствие своей биокосной природы менее чувствительна к изменению внешних условий, чем живые организмы. Она является относительно устойчивым, консервативным компонентом ландшафта, однако климатические изменения влияют на неё в долгосрочной перспективе. Температурный режим и режим влажности почвы наиболее быстро изменяются под влиянием климата по сравнению с другими почвенными свойствами. Изучение этих параметров важно для прогнозирования эволюции почв.

Цель работы – изучить влияние современного изменения климата на динамику температуры чернозёмных почв юга России в годовом и сезонном циклах.

Для изучения отклика температурного режима почв на современные флуктуации климата использованы данные наблюдений над температурой почвы, температурой и влажностью воздуха, осадками и снежным покровом за период 1961-2024 гг. на метеостанциях Чертково и Таганрог, расположенных соответственно на северо-западе и юго-западе Ростовской области.

Исследуемые почвы – чернозём южный тяжелосуглинистый в Черткове и чернозём обыкновенный (североприазовский) карбонатный тяжелосуглинистый в Таганроге – являются зональными почвами степной зоны. Согласно почвенно-географическому районированию России данные почвы относятся соответственно к Предкавказской и Южно-Русской провинциям зоны обыкновенных и южных чернозёмов степи и относятся к почвенно-климатическим фациям тёплых кратковременно промерзающих почв и тёплых промерзающих почв. В качестве климатической нормы (КН) взят период 1961-1990 гг. Рассматриваемые чернозёмы формируются при среднегодовых температурах воздуха 7.4°C (КН) в Черткове и 9.7°C в Таганроге. За исследуемый период 1961-2024 гг. среднегодовая температура воздуха на обеих метеостанциях синхронно выросла на 2.6°C.

В период 2011-2024 гг. среднегодовая температура воздуха достигла максимальных значений, превысив климатическую норму на 1.9°C. Увеличение температуры воздуха отмечается во все сезоны года, но наиболее выражено в зимний и летний сезоны. В Черткове средняя за зиму температура воздуха выросла на 3.7°C, а средняя за лето на 2.6°C. В Таганроге температура воздуха в зимний и летний сезоны увеличилась одинаково на 3.2°C.

Климатическая норма годового количества осадков составляет 512 мм в Черткове и 548 мм в Таганроге. За период 1961-2024 гг. отмечается незначительное увеличение годовых осадков, однако оно не компенсирует рост температуры воздуха, поэтому наблюдается уменьшение увлажнения исследуемой территории. В Черткове годовое количество осадков увеличилось на 55 мм или 11%, а в Таганроге на 11 мм или 2%, что не является статистически значимым. При этом в Черткове основное увеличение осадков приходится на тёплый период года, а в Таганроге на холодный период года. За рассматриваемый период среднегодовая относительная влажность воздуха в Черткове и Таганроге уменьшилась на 5%, а коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова уменьшился на 0.19. Уменьшение коэффициента Высоцкого-Иванова связано с ростом испаряемости, которая увеличилась на 34 и 37% в Черткове и Таганроге соответственно. Среднемесячная высота снега с декабря по март составляет 4-8 см (КН) в Черткове и 2-6 см в Таганроге. Такая незначительная мощность снежного покрова способствует промерзанию почвы в холодный период года. В изменении высоты снежного покрова между метеостанциями наблюдаются противоположные тенденции. Средняя из наибольших декадных высот снега за 1961-2024 гг. в Черткове увеличилась на 8 см, а в Таганроге, наоборот, уменьшилась на 4 см.

Среднегодовая температура североприазовского чернозёма в Таганроге, характеризующего более тёплую почвенно-климатическую фацию, увеличивается вниз по профилю почвы от 11.2°C (КН) на глубине 20 см до 11.7°C на глубине 320 см. В южном чернозёме более холодной фации в Черткове среднегодовая температура варьирует от 9.4°C на глубине 20 см до 9.6°C на глубине 320 см. Тренды среднегодовой температуры обеих почв за период 1961-2024 гг. на всех глубинах положительные. Наиболее существенный рост среднегодовой температуры почвы, превышающий рост среднегодовой температуры воздуха, наблюдается в верхней части профиля почв. С глубиной рост температуры уменьшается. Так, за исследуемый период среднегодовая температура почвы увеличилась на глубине 20 см на 2.8°C в Черткове и на 3.6°C в Таганроге, а на глубине 320 см на 1.5 и 2.6°C соответственно.

Сопоставление средних многолетних значений температуры почв на глубине 20 см в 2011-2024 и 1961-1990 гг. показывает более значительное потепление обеих почв в тёплый период года (апрель-октябрь). В летний сезон температура почвы в 2011-2024 гг. превысила климатическую норму на 3.0°C в Черткове и на 3.2°C в Таганроге, а в зимний сезон на 1.2 и 1.6°C соответственно. Такой существенный рост летних температур почв создаёт риск возникновения засух и требует проведения специальных агротехнических мероприятий, чтобы нивелировать отрицательное воздействие аридизации. Сумма температур почвы ниже 0°C на глубине 20 см уменьшилась в Черткове с -142 до -33°C, а в Таганроге с -58 до -12°C. Сумма температур почвы выше 10°C увеличилась в Черткове на 588°C с 3059 до 3647°C, а в Таганроге на 647°C с 3649 до 4296°C. Значительное увеличение сумм активных температур выше 10°C и уменьшение глубина проникновения температуры 0°C в почву свидетельствуют о потеплении исследуемых почв как в тёплый, так и в холодный периоды года.

Таким образом, сохранение современных тенденций изменения климата вызовет усиление аридизации в степной зоне юга России, что приведёт к дальнейшей деградации чернозёмов, включая их засоление, осолонцевание и окарбоначивание. В холодный период года уменьшится сумма отрицательных температур в почве, уменьшатся глубина сезонного промерзания и период пребывания почв в мёрзлом состоянии. Резко

уменьшится в почве запас зимней влаги в форме льда. В тёплый период года повышение температуры воздуха, сопровождающееся уменьшением увлажнения, приведёт к формированию засух в почвах, снизится биологическая активность почв. Выявленные изменения позволяют провести новую оценку почвенно-климатических ресурсов степной зоны.

Работа выполнена по теме государственного задания № 122040500036–9 «Влияние климатических флуктуаций и антропогенной деятельности на эволюцию и современное состояние почв юга России».

УДК 631.46

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА ПАХОТНЫМИ ПОЧВАМИ НА ОСНОВЕ УЧЁТА УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Романенков В.А.¹, Мешалкина Ю.Л.¹, Добровольская В.А.¹, Горбачёва А.Ю.², Манакова О.И.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, geoset@yandex.ru;

²НИУ ВШЭ, Москва

Секвестрация углерода пахотными почвами является ключевым элементом стратегий низкоуглеродного развития. Повышение точности оценки этого потенциала актуально для выполнения задач климатической политики России и перехода на третий уровень методологии МГЭИК, требующий использования данных национального мониторинга. Глобальные инициативы, такие как карта GSOCseq ФАО, предоставляют первоначальные прогнозы, но их разрешающая способность зачастую недостаточна для регионального уровня из-за использования обобщенных баз дистанционных данных с большим пространственно-временным покрытием. Повышение детализации моделирования возможно за счет различных приёмов, в том числе использования статистических данных на уровне муниципальных образований, что позволяет уточнить существующие оценки. В данном исследовании на примере ряда областей европейской территории России, апробирован подход к уточнению потенциала секвестрации с использованием динамического моделирования. Основное изменение заключается в замене расчетного параметра чистой первичной продукции (NPP), используемого в методике ФАО, на фактические данные статистики сельскохозяйственного производства по муниципальным образованиям. Выбор Ростовской области как пилотного региона обусловлен высокой сельскохозяйственной освоенностью территории, преобладанием пахотных почв среди земель сельхозназначения, наиболее проблемных с точки зрения потерь гумуса, а также наличием репрезентативной агрохимической базы данных.

Цель работы – количественно оценить влияние использования локализованных входных данных по урожайности и посевным площадям для 20 основных сельскохозяйственных культур на результаты прогноза секвестрации углерода, полученные с помощью модели RothC.

Объект исследования. Моделирование проводилось для пахотных земель Ростовской области, с преобладанием выщелоченных, оподзоленных, типичных, обыкновенных, южных черноземов, а также темно-каштановых и каштановых почв. Регион характеризуется высокой сельскохозяйственной освоенностью, где в структуре посевных площадей доминируют озимая пшеница (51,4%), подсолнечник (12,0%), ячмень (10,1%) и кукуруза (5,2%).

Методы. Методологической основой работы послужила унифицированная методика проекта ФАО GSOCseq, использующая модель углеродного цикла RothC. Моделирование запасов углерода проводилось в разрешении 1 км² для каждого пикселя карты пахотных земель на прогнозный период 2020–2040 гг. Стартовые условия задавались на основе карты запасов почвенного органического углерода в слое 0–30 см, выполненной отечественными учеными в рамках проекта ФАО GSOC17. Климатические параметры (среднемесячная температура, осадки, эвапотранспирация) за период 1980–2020 гг. были

получены из базы данных CRU TS v4.05, а гранулометрический состав почв – из глобального ресурса SoilGrids.

В соответствии с исходной методологией было смоделировано четыре сценария применения агротехнологий. Базовый сценарий неизменного хозяйствования (СНХ) предполагал сохранение текущих агротехнологий. Три сценария рационального землепользования (РИПР1, РИПР2, РИПР3) моделировали увеличение поступающего углерода в почву на 5%, 10% и 20% соответственно, что соответствует последовательному внедрению углеродсберегающих технологий.

Ключевым развитием методологии в данном исследовании стал переход от расчетных климатических оценок NPP к использованию фактических агростатистических данных. По официальной методике ФАО для оценки NPP предлагается использовать модель M1AMI, основанной на среднемесячной температуре и сумме осадков, которые предварительно извлекаются из глобальных баз данных и недостаточно подробны для моделирования на локальном уровне. Увеличение детальности моделирования возможно путем использования национальных данных. С этой целью была разработана и апробирована методика расчета NPP по национальным статистическим данным РФ. По этой методике на основе уравнений регрессии по официальным данным Росстата об урожайности и посевных площадях сельскохозяйственных культур в разрезе муниципальных образований была рассчитана биомасса растительных остатков. После пересчета на абсолютно сухое вещество с учетом стандартной влажности для разных групп культур и применения коэффициента перевода в углерод (0,45) были получены локализованные значения поступления С с растительными остатками для модели RothC. Потенциал секвестрации оценивался как медианное значение разницы запасов углерода между 2040 и 2020 годами по всем пикселям моделируемой территории.

Сравнение значений чистой первичной продукции (NPP), рассчитанных по стандартной методике ФАО (модель M1AMI) и на основе данных Росстата, выявило существенные различия. Климатическая модель демонстрирует плавный градиент возрастания NPP с северо-востока на юго-запад области, отражая географические закономерности изменения биоклиматического потенциала. Использование реальных агростатистических данных привело к значительной детализации картины: средний уровень NPP оказался ниже на 1.4 т С/га в год, а диапазон значений расширился с 4.5–5.1 до 1.7–8.7 т С/га в год. Это свидетельствует о перераспределении продуктивности в соответствии с локальными почвенно-экологическими и агротехническими условиями муниципальных образований. Используемое в исследовании уточнение входных параметров оказало значительное влияние на результаты моделирования потенциала секвестрации. Расчеты по стандартной методике для базового сценария (СНХ) показывали близкую к нулю динамику запасов углерода, в среднем $-0,007 \text{ т С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Применение локализованных данных сместило баланс в сторону слабого, но устойчивого накопления со средней скоростью $0,032 \text{ т С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Отрицательные значения сохранились лишь в 12 из 43 районов, оставаясь близкими к нулю.

Для сценариев рационального землепользования тренд усиления секвестрации подтвердился, однако новые оценки оказались существенно выше. Так, при увеличении поступления органического вещества на 5%, 10% и 20% (сценарии РИПР1, РИПР2, РИПР3) средняя скорость накопления углерода по уточненным расчетам составила 0,063, 0,096 и 0,161 $\text{т С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ соответственно, что примерно в 1,5–2 раза превышает прогноз по стандартной методике (0,031, 0,062, 0,127 $\text{т С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$).

Пространственное распределение потенциала накопления углерода также изменилось. Наиболее значительный рост скорости секвестрации выявлен в зоне южных черноземов, тогда как в зоне обыкновенных черноземов прогнозируемые значения несколько снизились. Таким образом, в отличие от предыдущих оценок, Ростовская область по новым данным входит в число регионов с высоким секвестрационным потенциалом, который при реализации сценариев РИПР может достигать 475–1244 тыс. тонн углерода в

год. Полученные результаты подчеркивают важность использования локализованных наземных данных для повышения точности прогнозных моделей и адресного планирования климатических проектов.

Апробированная методика, основанная на замене расчетных климатических показателей чистой первичной продукции (NPP) на фактические данные об урожайности и структуре посевных площадей из источников Росстата, позволила получить существенно более детализированную и точную картину, уточняя оценку потенциала секвестрации углерода пахотными почвами.

Ключевым результатом для Ростовской области стало изменение предыдущих оценок, основанных на глобальных моделях и характеризовавших регион как слабый эмитент углерода. Новые расчёты свидетельствуют о переходе к режиму небольшого, но устойчивого накопления даже при сохранении базовых агротехнологий, а при реализации сценариев рационального землепользования потенциал секвестрации может возрасти до $0,161 \text{ т С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, что выводит область в число перспективных регионов для внедрения углеродного земледелия. Предложенная методика обладает свойством масштабируемости и может быть распространена на другие субъекты Российской Федерации для формирования объективной основы при разработке стратегий низкоуглеродного развития АПК и совершенствования национальной кадастровой отчетности.

Методический подход, основанный на регрессионных уравнениях пересчета урожая в биомассу, доказал свою корректность и операционную применимость для крупномасштабных оценок. Его внедрение соответствует требованиям третьего уровня методологии МГЭИК, предусматривающего создание национальной системы наблюдения и учета углерода на основе детализированных моделей и локальных данных.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. №123030300031-6).

УДК 631.42

ЧЕРНОЗЕМЫ РОССИИ – ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ

Сапожников П.М.¹, Шехтер К.П.¹, Корсикова С.А.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail sap-petr@yandex.ru

Государственная земельная политика в современных условиях направлена на формирование эффективной системы землепользования и осуществляется на основе строгого количественного и качественного учета и оценки продуктивных земель, используемых в сельскохозяйственном производстве. Правильность ведения кадастрового учета сельскохозяйственных земель и точность знаний об их кадастровой оценке образуют свод сведений исследуемой системы землепользования, необходимый для принятия решений по повышению ее эффективности на всех уровнях управления. Основываясь на этих принципиальных положениях, государство в числе первоочередных мер обеспечивает проведение полной и объективной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения.

Черноземные почвы характеризуются самыми высокими показателями кадастровой стоимости и относятся к особо ценным сельскохозяйственным угодьям. Площадь черноземных почв составляет в Российской Федерации 326.8 млн га. Это всего лишь 7% общей площади страны, но на ней размещено более половины пашни и производится около двух третей всей сельскохозяйственной продукции. По сравнению с другими типами почв черноземы характеризуются сбалансированностью всех факторов почвообразования и являются почвенным эталоном. Однако, несмотря на природное

совершенство, черноземы неизбежно эволюционируют под воздействием естественных и, особенно, антропогенных факторов, утрачивая свое качество.

Характеристика качества черноземов является источником информации для вычисления кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения. Черноземы, находящиеся в различных агроклиматических условиях и элементах ландшафта, будут дифференцированы по кадастровой стоимости, и изучение характера такой дифференциации является весьма актуальной задачей, имеющей практическую (экономическую) значимость.

Целью настоящей работы является оценка качества черноземных почв и их кадастровой стоимости в различных климатических условиях Российской Федерации.

Объектами исследования являются черноземы агроландшафтов Европейской части территории Российской Федерации (Южного, Центрального, Приволжского федеральных округов) и Сибири (Сибирского федерального округа). Методы исследования включали работу со шкалами ВИСХАГИ (областные списки почв). Расчет удельных показателей кадастровой стоимости (УПКС) проводился по утвержденной методике Росреестра.

Расчет показателей качества черноземов (нормативную урожайность и балл бонитета) проводили в соответствии с ГОСТ Р70229-2022 «Почвы. Показатели качества почв».

Черноземы Европейской территории страны расположены в различных агроклиматических подзонах. Для исследуемых территорий на основе величины агроклиматического потенциала было выделено три группы для дальнейшего анализа: первая группа с высоким показателем агроклиматического потенциала более 7.7 (1 группа), вторая группа – средние величины агроклиматического потенциала от 6.1 до 7.7 (2 группа), третья группа – низкий агроклиматический потенциал менее 6.1 (3 группа). Нормативная урожайность зерновых на оподзоленных черноземах изменяется от 34.3 ц/га до 18.6 ц/га. Наибольшие показатели нормативной урожайности зерновых отмечены для черноземов юга России для субъектов первой группы с высоким агроклиматическим потенциалом. Нормативная урожайность зерновых достигает 51.0 ц/га для черноземов, выщелоченных Ставропольского и Краснодарского края, наиболее низкие показатели отмечены для черноземов выщелоченных Саратовской области – 14.9 ц/га. Нормативная урожайность зерновых на типичных черноземах изменяется в диапазоне от 12.6 ц/га до 54.0 ц/га, показатели для черноземов обыкновенных варьируют от 12.0 ц/га до 47.5 ц/га. Нормативная урожайность зерновых на южных черноземах в Ставропольском крае может достигать 32.0 ц/га. Фактическая урожайность при этом может значительно превышать показатели нормативной урожайности, так фактическая урожайность зерновых на выщелоченных черноземах может составлять более 70.0 ц/га. Это, безусловно, свидетельствует о высокой культуре земледелия и уровне аграрного производства. Превышение фактической урожайности зерновых культур отмечено нами для многих регионов черноземной зоны.

Площадь под черноземными почвами высокого качества, которые имеют бонитет более 80 баллов и нормативную урожайность, превышающую 40 ц/га, составляет около 10% площади пахотных земель страны. Более 74% площади пахотных почв, представленных черноземами оподзоленными и выщелоченными в северной части и черноземами южными в южной части ареала сельскохозяйственных угодий Российской Федерации, характеризуются качеством «выше среднего» и «средним» (соответственно 40–60 и 20–40 баллов бонитета) для выращивания зерновых или, соответственно, нормативную урожайность 30–40 ц/га и 20–30 ц/га. В соответствии с индексом качества почв, определяемым по баллу бонитета, черноземы Европейской территории России относятся к трем классам качества: ниже среднего, среднему и выше среднего (Табл. 1).

Таблица 1. Индекс качества различных подтипов черноземов России.

Почвы	Балл бонитета	Индекс качества почв
Черноземы Европейской территории России		
Черноземы оподзоленные	45-97	От среднего до высокого

Черноземы выщелоченные	46-117	От среднего до высокого
Черноземы типичные	39-120	Ниже среднего, средний и высокий
Черноземы обыкновенные	39-115	Ниже среднего, средний и высокий
Черноземы южные	33-117	Ниже среднего, средний и высокий
Черноземы Сибири		
Черноземы оподзоленные	31-63	От ниже среднего до выше среднего
Черноземы выщелоченные	24-65	От ниже среднего до выше среднего
Черноземы типичные	25-63	От ниже среднего до выше среднего
Черноземы обыкновенные	11-61	От низкого до выше среднего
Черноземы южные	9-49	От низкого до среднего

Необходимо отметить, что черноземы с негативными признаками – осолонцевание и сильная смытость – характеризуются индексом качества ниже среднего. Наиболее низкие значения отмечены для черноземов южных сильно солонцеватых.

В настоящее время особенно актуальны вопросы выделения особо ценных сельскохозяйственных угодий, причем в научной литературе существуют различные подходы. Общим в методологии выделения особо ценных сельскохозяйственных угодий является использование нормативной урожайности сельскохозяйственных культур. На основе оценки качества и классификации земель по их использованию в сельском хозяйстве разработаны критерии выделения особо ценных земель. Для Европейской части Российской Федерации выделены особо ценные земли федерального и регионального уровня. Земли 1 и 2 классов качества земель относятся к особо ценным землям федерального уровня, а 3 и 4 класса относятся к особо ценным землям регионального уровня. В центрально-черноземном районе площадь особо ценных земель федерального уровня максимальна и достигает 88.2% в Липецкой области. В Курской, Воронежской, Белгородской и Орловской областях площадь особо ценных земель федерального уровня составляет > 56%. Минимальные показатели зафиксированы в Тамбовской области – 51.4%. В Южном и Северо-Кавказском федеральных округах площадь особо ценных земель федерального уровня составляет в Краснодарском крае – 83.7%, в Республике Адыгея – 49.7%, а в Ставропольском крае – 14,4%. В Приволжском федеральном округе наибольший показатель особо ценных земель федерального уровня отмечен в Пензенской области – 60.4%, минимальный – в Оренбургской области – 1,7%. Таким образом, черноземы Европейской территории Российской Федерации характеризуются максимальной площадью особо ценных земель федерального уровня. При этом особо ценные земли данного уровня характеризуются минимальным проявлением негативных свойств, требующих применения специальных мероприятий для повышения и поддержания плодородия почв. Яркое выраженное проявление негативных процессов снижает качество земель до уровня ниже среднего.

Анализ удельных показателей кадастровой стоимости черноземов Европейской территории России показал, что максимальное значение соответствует черноземам выщелоченным Краснодарского края – 44.9 руб./м² (при агроклиматическом потенциале (АП) 10.5). Для других подтипов максимумы составили: черноземы оподзоленные – 32.1 руб./м² (АП 8.1), черноземы типичные – 40.5 руб./м² (АП 9.9), черноземы обыкновенные – 38.2 руб./м² (АП 8.9), южные – 27.4 руб./м² (АП 10.5). По критерию Манна-Уитни выявлено, что черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные и черноземы типичные статистически значимо не отличаются, различия отмечены для черноземов обыкновенных и черноземов южных.

Индекс качества черноземов Сибири представлен в таблице №1. Необходимо отметить, что в изученных черноземах балл бонитета не превышал 65, то есть качество черноземных почв Сибири ниже качества черноземов Европейской территории России. С показателями индекса качества черноземов Сибири хорошо согласуется и распределение особо ценных земель данного региона. Особо ценных земель федерального уровня в Сибири

практически нет, только в Алтайском крае площадь особо ценных земель федерального уровня составляет 8.8% площади сельскохозяйственных угодий. Преобладают особо ценные земли регионального уровня. Максимальная площадь особо ценных земель регионального уровня > 70% отмечена в Красноярском крае и Кемеровской области, в Томской области – 54.4%, в Алтайском крае – 44.4%, в Новосибирской и Омской областях – 32.3 и 29.6 % соответственно.

Показатели кадастровой стоимости черноземов Сибири отличаются более низкими значениями кадастровой стоимости по сравнению с черноземами Европейской территории, вследствие меньшего агроклиматического потенциала.

Таким образом, черноземные почвы характеризуются самыми высокими показателями кадастровой стоимости и относятся к особо ценным сельскохозяйственным угодьям. Большая часть площади черноземов Европейской территории относится к особо ценным землям федерального уровня, преобладают они в центрально-черноземной зоне. В черноземах Сибирского федерального округа преобладают особо ценные земли регионального уровня. Качество черноземов - нормативная урожайность сельскохозяйственных культур и балл бонитета - значительно ниже для чернозёмов Сибири, по сравнению с черноземами Европейской территории России. Максимальными показателями кадастровой стоимости характеризуются следующие подтипы черноземов – типичные, выщелоченные, оподзоленные. Минимальными – обыкновенные и южные. Проявление негативных процессов снижает качество черноземных почв до уровня ниже среднего.

УДК 504.5

МНОГОЭТАПНЫЙ МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ПОЧВ С УЧЕТОМ ПРЕДЕЛОВ ДЕЙСТВИЯ СКЛОНОВ

Соколова Н.В.¹, Макаров О.А.², Якушев Н.Л.²

¹ Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, e-mail: sona@ipng.ru;

² МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: oa_makarov@mail.ru

В связи с изменениями почв актуализируются проблемы сохранения их важнейших свойств. Академик Г.В. Добровольский стоял у истоков создания Красной книги почв. Он считал, что для выявления природных факторов образования и динамики почв необходим междисциплинарный подход.

Как известно, динамика почв напрямую связана со склоновыми процессами. И системы земледелия на склоновых землях должны иметь выраженный противоэрозионный характер. Необходимо, чтобы противоэрозионный комплекс мероприятий был направлен на уменьшение смыва почвы до допустимых пределов, прекращение оврагообразования, повышение плодородия эродированных почв и урожайности сельскохозяйственных культур на них.

Целесообразно с использованием системного подхода проследить характер изменений склонов в естественных условиях с учетом пределов их развития.

По определению, склон – это наклонный участок поверхности Земли, формирующийся в результате действия рельефообразующих процессов, протекающих на суше и на дне морей и океанов.

Данное определение несколько абстрактное без показа границ такого участка. Кроме того, не учитывается то обстоятельство, что в реальной действительности каждый участок земной поверхности необходимо рассматривать в трехмерном пространстве, с тремя координатами (вертикальной и двумя горизонтальными). Таким образом, склон – это наклонный в ортогональных направлениях участок. При этом одна из горизонтальных составляющих показывает собственно характеристику самого склона, а другая – характеристику нижней его границы, зоны тальвега (по определению линии, соединяющей самые низкие точки земной поверхности). По этой зоне сносимое вещество уходит из системы данного склона.

Важность выделения второй горизонтальной составляющей наклона очевидна, ведь от ее изменения зависит динамика эродирования участка. Самыми неблагоприятными для почв являются условия активизации процессов эрозии на склоне, при которых в зоне тальвега понижаются местные базисы денудации и усиливается вынос вещества за пределы данной системы.

Целью исследований было выделение склонов как системных объектов, имеющих пределы действия в трехмерном пространстве. Такие склоны можно считать таксонами при мониторинге изменений условий развития почв.

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать транзитные тальвеги. Как показали исследования, они являются индикаторами господствующего процесса усиления уплотнения вещества к центру Земли, структурированы узлами, где функционируют местные базисы денудации. На земной поверхности к ним приурочены гидро-и литодинамические потоки.

В узле транзитных тальвегов фиксируется первый уровень естественного управления процессами денудации. Взаимосвязи этих геологических линейных объектов в ортогональных плоскостях отражают второй уровень естественного управления – область денудации, оконтуренную транзитными тальвегами с четырьмя их узлами. Границы области денудации всегда являются пределами для врезания внутри ее наиболее крупного гидро-и литодинамического потока.

Сфера крупного узла такого потока со своим активным притоком в данной области показывает локализацию вертикального канала разуплотнения. При активизации этого канала здесь возможны выбросы вещества из недр. К примеру, подобные выбросы распространены на п-ове Ямал, в том числе из-за активизации антропогенного воздействия.

В условиях господствующего процесса усиления уплотнения вещества к центру Земли нижним пределом склона является транзитный тальвег. Верхний предел его ассоциируется с линией наиболее высоких точек, связанных с транзитным тальвегом. Боковые границы склона показывают пределы действия одного типа его естественного управления.

Известный метод изолиний позволяет по топографическим картам выделить эрозионные врезы разного ранга, функционирующие в зонах тальвегов. В процессе исследований были выявлены системы взаимосвязанных склонов, развивающихся на тестовом участке, включающем территорию УО ПЭЦ МГУ имени М.В. Ломоносова «Чашниково» (рисунок).

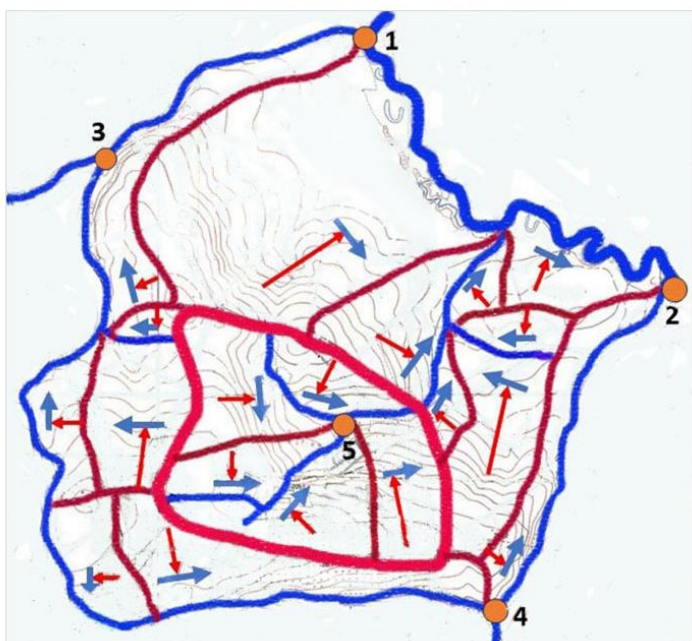


Рисунок. Система взаимосвязей склонов (с разными показателями процесса денудации), развивающихся в области денудации, оконтуренной транзитными тальвегами (замкнутая синяя линия)

1-5 – узлы транзитных тальвегов первого (1-4) и второго (5) ранга (условно) – красные кружки; красная жирная линия – сфера узла (5); красная жирная и темно-красная линии – верхние и боковые пределы склонов. Показатели склона отражены стрелками (красная – 1-я составляющая наклона, синяя – 2-я составляющая наклона участка земной поверхности)

С использованием топографических данных была зафиксирована область денудации, оконтуренная транзитными тальвегами (замкнутая синяя линия на рисунке), в зоне которых функционируют главная река и два ее активных параллельных притока. Крупными красными кружками показаны узлы (1-4) сочленения данных гидро-и литодинамических потоков. Незамкнутыми синими линиями отображены притоки (и транзитные тальвеги) относительно низкого ранга. Внутри выявленной области денудации развивается самый крупный поток вещества с узлом (5) сочленения его со своим активным притоком. Отражена сфера влияния данного узла (замкнутая красная жирная линия), индицирующая положение проекции вертикального канала разуплотнения внутриземного вещества в данной области денудации.

Проведенные исследования показали необходимость многоэтапного мониторинга условий развития почв, связанных с разными функционирующими системами склонов.

На первом этапе целесообразно учитывать то обстоятельство, что в отображенной на рисунке области денудации имеются два почвенных ареала крупного ранга, которые находятся в принципиально разных условиях.

В пределах сферы узла транзитных тальвегов (5) превалируют процессы аккумуляции и есть возможности обогащения почв за счет глубинных веществ, газов, в том числе водорода, идущих по вертикальному каналу разуплотнения вещества к земной поверхности с разных глубин. Изменения почв здесь зависят от режима развития данного вертикального канала.

На оставшихся склонах, примыкающих к главной реке и двум ее активным притокам, почвы изменяются в условиях преобладания процессов денудации, латерального перемещения вещества земной поверхности по склонам. В зависимости от характера систем склонов в этом ареале создаются благоприятные и неблагоприятные условия для развития почв. Чем круче 2-я составляющая наклона участка, тем больше возможностей для развития на нем эрозионных процессов. Полевые данные показывают, что условия развития почв на склонах даже без антропогенного воздействия могут кардинально измениться через несколько десятилетий.

На втором этапе в каждом из двух выделенных крупных почвенных ареалов должен проводиться мониторинг изменений склонов, у которых разные по направлению соответствующие горизонтальные составляющие (обе или одна из них). При этом условия развития почв на данных склонах также различаются.

На рисунке отображены 19 таких земельных участков с двумя ортогональными составляющими наклона. Для каждого из них (разделенных темно-красными относительно тонкими линиями) показаны направление самого склона (красная стрелка) и уклон принимающего гидро-и литодинамического потока (синяя стрелка). Необходимо учитывать, что в оптимальных условиях область денудации должна содержать 9 подобных участков (из них пять в сфере узла 5 (см рисунок)).

На третьем и последующих этапах в почвенных ареалах второго уровня необходимо выделить склоны, отличающиеся по крутизне, форме профиля и составу слагаемых пород. В их пределах целесообразно проводить дифференциацию почв. В итоге определяются условия развития склонов, которые являются опасными и требующими проведения противозерозионных мероприятий по недопущению оврагообразования, чрезмерного смыва почвы и т.д. В настоящее время, к примеру, проводятся исследования по

группировке земель по степени проявления эрозии и потребности в противоэрозионных мероприятиях с учетом степени смытости почвы и крутизны склонов для территорий полевых севооборотов в Чашниково.

Известно, что эрозионные процессы способствуют перемещению почвенного материала по элементам рельефа: смыву со склоновых участков и отложению в аккумулятивных элементах рельефа, что приводит к образованию чехла делювиальных отложений различной мощности. С учетом проведенных исследований это происходит при уменьшении 2-й составляющей наклона участка земной поверхности.

Имеются данные о связи проявления эрозионных процессов (и степени смытости почв) с крутизной склонов. Более 80% склоновых пространств имеют крутизну до 3° с преимущественно слабосмытыми почвами, а около 7% склонов характеризуются крутизной 3–5°, где преобладают среднесмытые почвы. Максимальная крутизна характерна для склонов небольших по протяженности оврагов.

Со временем крутизна основного склона и уклон взаимосвязанного с ним потока в зоне транзитного тальвега могут меняться. Появляется возможность выявить тенденцию таких системных изменений наклонных участков.

Также известно, что каждый независимый поток вещества имеет в конкретный момент времени свой базис денудации. Поэтому речь всегда идет о движении вещества в конкретной системе склонов. При этом на противоположных склонах, связанных через транзитный тальвег, это движение осуществляется по-разному. На одном усиливается снос, а на другом он ослабевает. На черно-белых панхроматических аэрофотоснимках четко выделяются природные объекты, развивающиеся в условиях усиления сноса или усиления аккумуляции. Выявление по данной известной методике противоположно развивающихся почв на выделенных склонах (см. рисунок) позволит получить новую информацию о их динамике.

Пределы действия склонов являются пределами действия гидро-и литодинамических потоков разного ранга. Представленная система склонов дает возможность дифференцированно подходить к исследованию почвенных ареалов. Определяя крутизну склонов в каждом из них, можно выделить и оценить наиболее опасные, с точки зрения проявления эрозионных процессов, их зоны. Такие данные позволят разработать и применить целенаправленные противоэрозионные технологические приемы разного уровня при производстве сельскохозяйственных работ на конкретном участке земной поверхности с двумя координатами уклона.

Целесообразно включить зафиксированную систему склонов (см. рисунок) в учебную полевую практику по диагностике, изучению противоэрозионной стойкости эродированных почв и проектированию противоэрозионных мероприятий. Это позволит дополнить имеющиеся данные, выявить основные закономерности распределения эродированных почв в выделенных системах склонов, а также проводить многоэтапный мониторинг динамики почв с учетом пределов их развития.

Исследование выполнено частично (выявление систем транзитных тальвегов разного ранга) в рамках государственного задания (тема № 125021302095-2), частично (выявление систем склонов земной поверхности и их изменений) в рамках государственного задания (тема № АААА-А21-121012290189-8).

УДК 502/504:631.445.4:528

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ ПРИРОДНОГО РАЗНООБРАЗИЯ «ЧЕРНЫХ ПОЧВ» РОССИИ

Чернова О.В.¹, Присяжная А.А.²

¹Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, Москва, e-mail ovcher@mail.ru;

²Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, e-mail alla_pris@rambler.ru

В мировом сельскохозяйственном производстве основная нагрузка приходится на самые плодородные «черные почвы» (ЧП) – «Black soils». ЧП занимают 5,6% от общей площади суши, однако они не только кормят 223 млн человек, проживающих в регионах их распространения, но и население стран, которые импортируют продукты сельскохозяйственного производства. Поскольку в мировом почвоведении не существует единого представления о ЧП, при создании Глобальной карты распространения черных почв (GBSmap) рабочей группой ФАО (IUSS Working Group WRB) были приняты критерии отнесения почв к 1-й или 2-й категориям ЧП по характеристикам поверхностных горизонтов: мощности, окраске, содержанию органического углерода, емкости катионного обмена, степени насыщенности основаниями, оструктуренности. В соответствии с этими критериями на территории России к ЧП относятся не только «черноземы» в терминах отечественных классификаций, но и темно-серые лесные почвы, темно-каштановые и каштановые, дерново-карбонатные и другие почвы: буроземы, лугово-черноземные, некоторые луговые.

На итоговой GBSmap представлены области, в пределах которых с вероятностью $\geq 50\%$ могут находиться черные почвы. Согласно этой карте, около 45% всех ЧП расположено в России (326.8 млн га) и занимают они немногим менее 20% территории страны. Эти почвы являются основой пахотного фонда, причем за последние десятилетия нагрузка на них продолжает увеличиваться из-за снижения масштабов сельскохозяйственного производства в регионах с менее благоприятными климатическими и почвенными условиями. Интенсивное использование ведет к деградации ЧП: усиливается водная эрозия и дефляция, наблюдается дегумификация, возрастают засоление и осолонцевание. Имеется огромное количество работ, посвященных изучению основных факторов деградации ЧП, методов их восстановления и анализу проблем устойчивого управления, при этом сохранение ненарушенных ЧП в естественных экосистемах практически выпадает из сферы внимания научной общественности.

Характеристики ЧП значительно изменяются как в глобальном, так и в региональном масштабах, поэтому для оценки уровня деградации, контроля антропогенных изменений необходимы тестовые (эталонные) участки с типичными для определенного региона естественными почвами, которые могли бы служить образцами для ведения фонового мониторинга и сравнения с антропогенно преобразованными аналогами. Основным механизмом сохранения природного разнообразия экосистем, включая почвы, традиционно считается сохранение его в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Основная цель работы — оценка современной представленности природного разнообразия ЧП России в сети федеральных ООПТ и рассмотрение возможности создания системы эталонных объектов фонового мониторинга ЧП, типичных для крупных природно-географических регионов страны.

Работа выполнена с использованием следующих картографических материалов: Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации М. 1:8 000 000 (ПЭР РФ); Почвенная карта РСФСР М. 1:2 500 000, дополненная Почвенной картой Крыма М. 1:2 500 000; современная цифровая версия Почвенной карты России (ПКР). Границы ООПТ оцифрованы в соответствии с их установочными документами. Площадную и типологическую представленность разнообразия ЧП России в федеральных ООПТ оценивали методами геоинформационного анализа.

Отнесение почв/почвенных комплексов – выделов легенды цифровой ПКР – к ЧП проводили на основе информации национальной профильной атрибутивной базы данных Информационной системы «Почвенно-географическая база данных России», которая в настоящее время содержит данные о 1146 представительных (типичных) почвенных разрезах для 205 почвенных разностей. На основе разработанных WG INBS FAO's GSP критериев отнесения почв к 1-й или 2-й категориям ЧП, а также на основе более подробного анализа морфологических и аналитических характеристик типичных почв –

выделов легенды цифровой ПКР – было осуществлено более дробное разделение на группы ЧП по свойствам, определяющим естественное плодородие и ценность в сельскохозяйственном производстве. Такое разделение позволило подробно проанализировать расположение, особенности и состояние территориальной охраны наиболее хозяйственно-значимых почв страны.

Методами геоинформационного анализа оценена обеспеченность федеральными ООПТ провинций – территориальных единиц ПЭР и представленность в ООПТ типичных для провинций почв.

Согласно нашим оценкам, которые охватывают отраженную на ПКР территорию, площадь ЧП в России составляет 267.8 млн га, около 16% площади почвенного покрова. Они распространены в широком спектре природных зон России: от средней тайги до сухих степей, также встречаются фрагментами в поймах рек полупустынной зоны. На рисунке показано расположение основных ареалов ЧП на территории России, разделенных на группы в соответствии с критериями WG INBS FAO's GSP и нашими представлениями.

Из 254 картографических единиц (почвы и почвенные комплексы), которые отражены в легенде ПКР, 63 (25%) могут быть отнесены к ЧП.

Наиболее ценные ЧП (1-я категория WG INBS FAO's GSP) занимают 149.5 млн га – 56% общей площади ЧП, к ним относятся 40 выделов легенды – 63% типологического разнообразия ЧП, 18 из них (107.8 млн га – 40% площади ЧП) представлены собственно черноземами в соответствии с традиционными представлениями отечественных классификаций (рис. ЧП-Ia). Группа ЧП с характеристиками на уровне граничных значений между 1-й и 2-й категориями (рис. ЧП-I/II) включает 10 выделов (96.4 млн га – 36% площади ЧП). Ко 2-й категории относится 13 почвенных выделов (22.0 млн га – 8%), в том числе 3 выдела (буро-таежные, горно-луговые дерновые, горные лесо-луговые), характеристики которых могут соответствовать или не соответствовать 2-й категории ЧП в зависимости от региона их нахождения. Конкретные ареалы этих почв относили к ЧП, ориентируясь на экспертное мнение специалистов, высказанное в ходе работы над GBSmap.

ЧП охраняются в 113 ООПТ: 53 государственных заповедниках, 34 национальных парках и 26 заказниках. Площадная репрезентативность ЧП в федеральных ООПТ составляет 1.9% их общей площади. Для отдельных разностей ЧП относительная площадь в федеральных ООПТ может изменяться от 0 до 28.8%.

Наиболее высока представленность в ООПТ ЧП горных территорий – 11.7%. Гораздо ниже представленность в ООПТ ЧП степной зоны, к которым относятся наиболее плодородные черноземы. В минимальной степени охраняемые территории охватывают самые ценные ЧП 1-й категории, при этом представленность собственно черноземов и лугово-черноземных почв (ЧП-Ia), составляет всего 0.26%.

Типологическая репрезентативность федеральных ООПТ в отношении ЧП составляет 62%: из 63 выделенных в России картографических единиц ЧП 39 встречаются на охраняемых территориях. 24 выдела ЧП не представлены в ООПТ, из них 18 относятся к ЧП 1-й категории – самым хозяйственно-ценным почвам страны и мира, что создает реальную угрозу полной утраты образцов таких ЧП в естественном состоянии.

С практической точки зрения наиболее важно сохранение естественных почвенных разностей, типичных для крупных природно-географических регионов распространения ЧП.

В условиях климатических изменений и усиливающегося антропогенного воздействия актуальна задача создания на базе ООПТ системы тестовых площадок фонового мониторинга и эталонных объектов стационарных исследований для наблюдения за функционированием этих наиболее ценных почв страны.

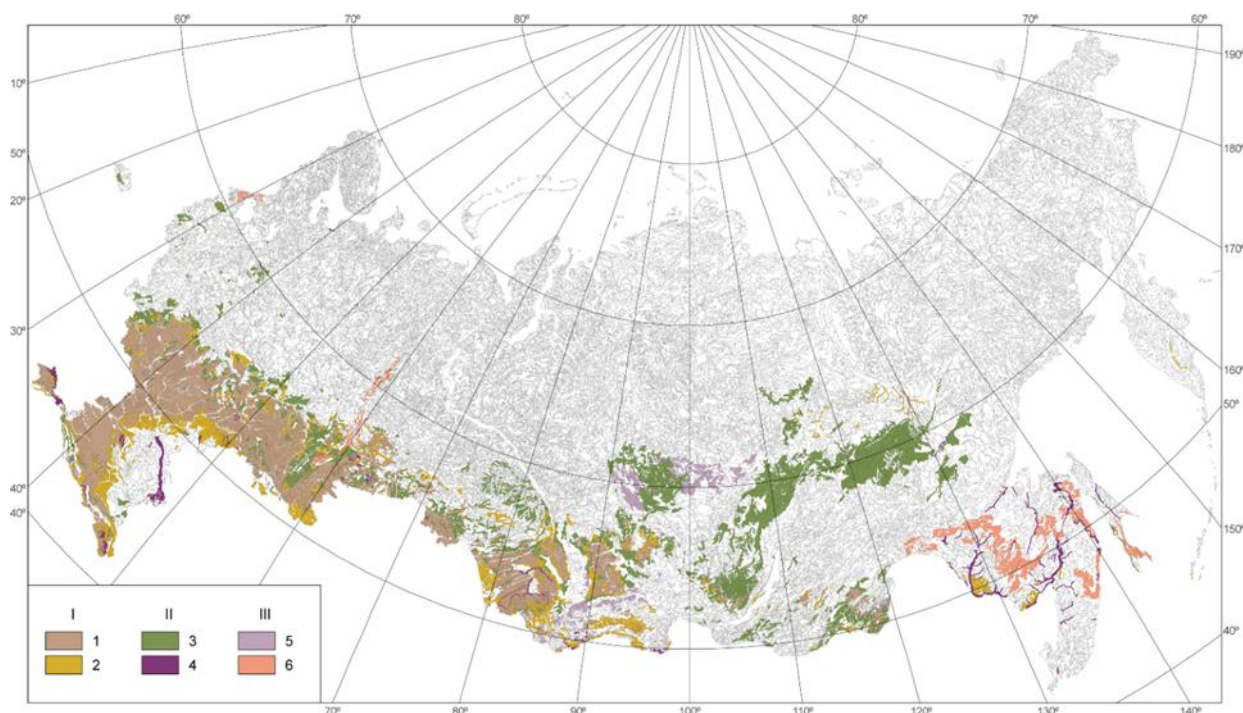


Рисунок. Распространение черных почв на территории России: I – наиболее ценные черные почвы: 1 – черноземы в соответствии с традиционными представлениями (ЧП-Ia), 2 – остальные ЧП 1-й категории (ЧП-Iб); II – черные почвы, наиболее ценные в регионах их распространения: 3 – характеристики соответствуют граничным значениям между 1-й и 2-й категориями (ЧП-I/II), 4 – характеристики соответствуют 2-й категории (ЧП-IIa); III – почвы, характеристики которых соответствуют требованиям WG INBS FAO's GSP только в части регионов их распространения: 5 – характеристики соответствуют 2-й категории (ЧП-IIб), 6 – не соответствуют ЧП.

Анализ показал, что в наименьшей степени охраняемыми территориями обеспечены типичные ЧП степной зоны: в четырех провинциях (Крымская, Зауральская, а также Западно-Сибирская и Предалтайская степные) ООПТ отсутствуют или занимают менее 0.1% площади. Широко распространенные в стране основные почвы Крымской и Предкавказской провинций – черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные (9.8 млн. га в стране); Зауральской и Западно-Сибирской степной провинций – черноземы языковатые обыкновенные (3.1 млн. га) и черноземы языковатые южные (1.4 млн. га) – на охраняемых территориях не встречаются. Не обеспечены ненарушенными аналогами и широко используемые в сельском хозяйстве мицелярно-карбонатные темно-каштановые и каштановые почвы Восточно-Предкавказской провинции, а также типичные для Зейско-Буреинской провинции лугово-чернозёмовидные почвы Амурских прерий (1 млн. га) – самые плодородные почвы Дальнего Востока.

Ненарушенные разности типичных почв зоны сухой степи – темно-каштановые и каштановые – достаточно широко представлены на охраняемых территориях благодаря кластерному характеру заповедников зоны (Ростовский, Оренбургский, Убсунурская котловина).

Несмотря на то, что небольшие разрозненные участки не могут выполнять функции эталонов природы в полной мере, их резерватная, ресурсоохранная и мониторинговая роль в максимальной степени проявляется именно на сильно измененных антропогенным воздействием территориях. Вероятно, чтобы сохранить последние фрагменты ненарушенных ЧП с соответствующими природными комплексами требуется их обследовать и присвоить охранный статус наиболее типичным и сохранным участкам. Анализ картографических и литературных источников показал, что наиболее перспективный путь сохранения ненарушенных разностей ЧП, типичных для крупных

регионов, – обследование почвенного покрова охраняемых территорий регионального уровня и повышение охранного статуса наиболее репрезентативных из них.

В работе не рассмотрен почвенный покров новых регионов России, поскольку на эти территории пока нет почвенной карты, созданной на той же теоретической основе и с той же легендой, что и ПКР. На этих территориях запланирована организация 11 новых ООПТ федерального значения (двум из них уже присвоен федеральный статус), что, повысит сохранение природного разнообразия ЧП России.

Секция 2. Экологические функции почв в биосфере и методология экологического почвоведения

УДК 631.46

ЗОНАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ЛУГОВЫХ ПОЧВ ТАЕЖНО-ЛЕСНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОН

Балабко П.Н.¹, Быкова Е.П.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, balabkopetr@mail.ru, elebyk2008@rambler.ru

С глубокой древности аллювиальные почвы являются очагами земледелия, не потерявшими экономического значения и в настоящее время. Занимая сравнительно небольшие площади суши, пойменные и дельтовые почвы обеспечивают значительную часть мировой сельскохозяйственной продукции. Изучение почв и почвенного покрова аллювиальных пойменных и дельтовых ландшафтов связано с именами российских ученых - В.Р. Вильямса, В.И. Шрага, Е.В. Шанцера, И.И. Плюснина, В.А. Ковды, С.В. Зонна, В.В. Егорова, П.Н. Балабко, К.Н. Федорова, Н.В. Стасюк и многих других. Особое место изучение пойменных почв занимает в научном наследии Г.В. Добровольского. В 1968 году вышла в свет монография Г.В. Добровольского «Почвы речных пойм центра Русской равнины» под редакцией члена-корреспондента Академии наук СССР В.А. Ковды. До настоящего времени мысли, высказанные в ней остаются актуальными, и ссылки на нее в работах по пойменным почвам не прекращаются. Территория России изрезана речной сетью, по ней протекает более 200 крупных и 2,5 млн. малых рек, что обусловило развитие аллювиальных почв во всех почвенно-климатических зонах России. Речные ландшафты сложные сопряженные системы. Они формируются двумя природными процессами - периодическим затоплением текущими полыми водами и аккумуляцией свежего минерального материала. В поймах русло реки - это природная дрена, в дельтах же из-за отложения больших количеств речного аллювия, русла оказываются выше окружающей территории, чем вызвана частая смена направления основного речного русла в дельтах. Лишь мелкие горные реки не имеют дельт и выраженных пойм, образуя в своих низовьях галечниковые или каменистые конусы выноса. При затоплении полыми водами происходит естественное орошение и влагозарядка почв, их ускоренное оттаивание, обновление почвенного воздуха. Продолжительность периодического затопления определяет степень гидроморфизма пойменных и дельтовых почв, их различную интенсивность оглеения, которое отчетливо фиксируется в морфологии и микроморфологии. Поступление свежего минерального материала приводит к росту почвенного профиля вверх, формируя толщу разной степени слоистости, в которой развивается почвенный профиль под воздействием почвообразовательных процессов. Интенсивность данных процессов, а также их соотношение определяют морфологию профиля пойменных и дельтовых почв, формируют их свойства. От отлагаемого аллювия почвы наследуют не только гранулометрический, но и петрографический и биолитный состав. Состав илистого осадка непосредственно определяет состав органического вещества и обеспеченность элементами

питания аллювиальных почв, так как в нем содержатся гумус, соединения калия, фосфора. Илистые осадки богаты разнообразной микрофлорой. Разнообразие условий формирования речных долин и дельт, установление связей между аллювиальными почвами и другими компонентами природной среды обусловили их разнообразие: минеральные и торфяные, кислые и нейтральные, сухие и заболоченные, песчаные и глинистые, карбонатные, засоленные и солонцеватые, слоистые, ожелезненные, имеют различный водный, тепловой, окислительно-восстановительный и другие режимы, различаются естественным плодородием, имеют как слабосформированный, так и мощный профиль, сложный состав органического вещества. Все разнообразие аллювиальных почв объединено Классификацией почв (1977г) в три группы - кислые ненасыщенные основаниями, нейтральные и слабокислые - насыщенные основаниями и карбонатные со слабощелочной реакцией среды. В классификации и диагностики почв 2004 года отдел Аллювиальные почвы представлен 13 типов профилей. Классики отечественного почвоведения В.В. Докучаев и Н.М. Сибирцев аллювиальные почвы речных долин относили к «азональным», «наносным». Впервые Б.Б. Полынов в 1909 году указал на наличие некоторых зональных признаков в аллювиальных почвах лесной зоны. В трудах ученых Московского университета аллювиальным почвам уделялось большое внимание. В 1968 году Г.В. Добровольский на большом материале предложил выделение в поймах рек лесной зоны трех процессов: дернового, лугового и болотного, в результате которого формируются дерновый, луговой и болотный типы пойменных почв. Тип луговых и болотных почв по степени развития основного и сопутствующих процессов подразделен на два подтипа: дерново-луговой и лугово-болотный. Далее в развитии учения Глеба Всеволодовича Добровольского в работах П.Н. Балабко, Н.В. Стасюк, К.Н. Федорова была подтверждена универсальность этой классификации не только для аллювиальных почв пойм Западной Сибири и Дальнего Востока, но и аллювиальных почв дельт сухостепной зоны. Таким образом, дерновые, луговые и болотные почвы встречаются с кислой, нейтральной и щелочной реакцией среды. И каждый тип почв имеет наряду с отличительными признаками и зональные особенности. Так, в аридных районах на прирусловых повышениях распространены луговые слаборазвитые почвы, а в целом тип луговых почв представлен широким эволюционным и типовым разнообразием. В целом, в разных почвенно-климатических зонах основные типы аллювиальных пойменных почв (дерновые, луговые и болотные почвы) отличаются (Балабко, 1991, Стасюк, 1965) следующими признаками зональности: — цветом почвы (серо-бурый в таежной зоне: темно-бурый -лесостепной, темно-серый до черного - в степной, серый с буроватым оттенком – в аридной); реакцией среды (кислые и слабокислые в таежной зоне, насыщенные в - лесостепной, насыщенные и карбонатные - в степной, карбонатные, слабощелочные – в аридной); мощностью гумусового горизонта (с севера на юг увеличивается мощность гумусового горизонта); содержанием и составом гумуса (с севера на юг увеличивается содержание гумуса, изменяется его состав от фульватного до фульватно-гуматного и гуматного и гуматного с высоким содержанием гуминов в аридной зоне); большой профильной и пространственной динамичностью свойств, которая особенно очевидна в аридной зоне степенью гумификации и переработанности органических остатков (от таежной зоны к степной уменьшается количество грубых растительных остатков, фитодетрита и увеличивается количество скоагулированного зернистого гумуса); насыщенностью почв основаниями (с севера на юг возрастает емкость поглощения и степень насыщенности почв основаниями); количеством и составом почвенных новообразований: в таежной зоне с севера на юг возрастает количество марганцовисто-железистых новообразований, максимальное их количество находится в

луговых почвах южно-таежной подзоны центра Русской равнины, даже к югу их количество уменьшается, а в степных областях они представлены пятнистыми и пленочными органо-железистыми микроформами. Карбонатные новообразования типичны для почв пойм таежно-лесной и степной зон, новообразования гипса, карбонатов и солей характерны для пойменных почв степной зоны и дельтовых почв для более сухих условий; неоднородным минералогическим составом, формирующимся водосборной питающей провинцией (рисунок). В аллювиальных почвах таежно-лесной зоны ярко выражены процессы лессиважа в виде железисто-глинистых натеков, а в аллювиальных почвах степной зоны признаки подвижной глины слабо выражены. Аллювиальные почвы составляют основу лучших природных кормовых угодий, являются очагами интенсивного сенокосения и кормопроизводства, выращивания овощных культур, а также большого набора других с/х культур.

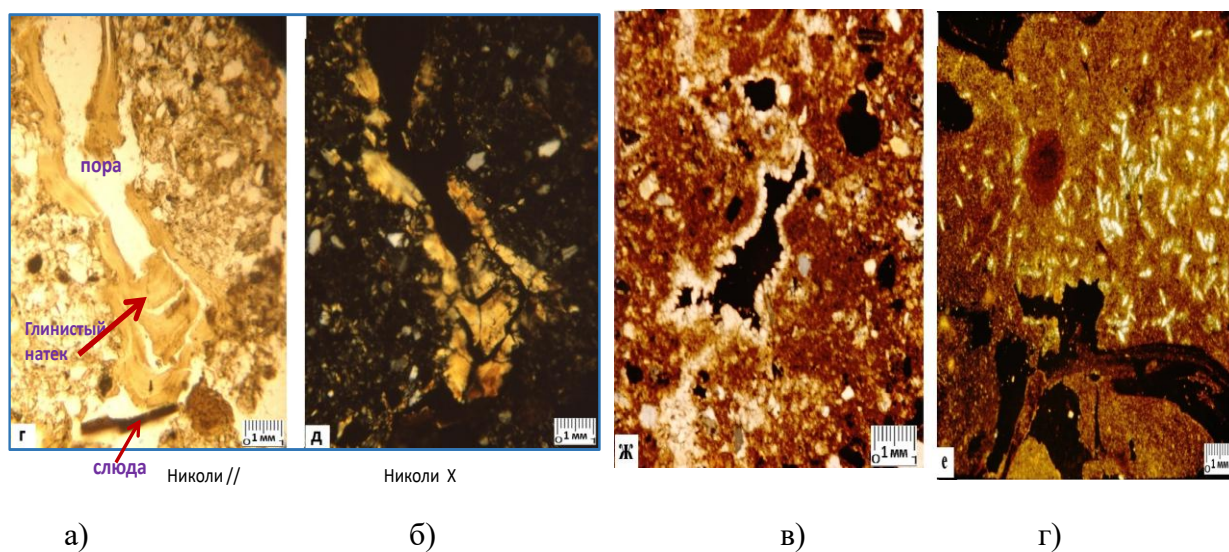


Рисунок - Зональные признаки аллювиальных луговых почв таежно-лесной и степной зон
Глинистые кутаны иллювиирования в горизонте Bg (50-60 см) аллювиальной луговой почвы реки Оби в пределах средне-таежной подзоны (а,б - наличие кутан иллювиирования)

Типоморфные микроморфологические признаки в аллювиальных луговых почвах степной зоны (в - карбонаты, свидетельство процесса окарбоначивания ; г - отложение гипса в карбонатных горизонтах)

УДК 631.4:502.34:550.4(091)

О ТВОРЧЕСКОМ И НАУЧНОМ НАСЛЕДИИ АКАДЕМИКА Г.В. ДОБРОВОЛЬСКОГО
Л.Г. Богатырев¹, В.А. Кузнецов¹, Н.П. Матекина¹, Е.П. Быкова¹, В.М. Телеснина¹,
О.В. Семенюк¹, А.Н. Вартаков¹

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: bogatyrev.l.g@yandex.ru

«Натуралист и математик всегда должен
знать прошлое своей науки, чтобы
понимать её настоящее»
(Вернадский, 1912)

Оценивая вклад выдающегося учёного, академика Г.В. Добровольского, в первую очередь нельзя не отметить разносторонность его исследований, что характерно для крупных учёных — основателей собственных научных школ. Это обусловлено одной важной

чертой его публикаций — преобладанием как внутридисциплинарного, так и междисциплинарного характера.

Первое направление последовательно воплощалось в классических научных исследованиях Г.В. Добровольского — от генезиса до географии почв. Второе направление было обусловлено осознанием биосферной роли педосферы и нашло отражение в серии его работ по экологизации почвоведения и мониторингу окружающей среды.

В течение всей своей научной деятельности Г.В. Добровольский постоянно обращался к фундаментальным трудам основателя отечественного почвоведения В.В. Докучаева. Именно это послужило основой для формулирования им методологических принципов, которые, по его мнению, были предвосхищены ещё В.В. Докучаевым:

1. Принцип системного мышления, получивший отражение в формулировании понятия почвы как самостоятельного естественно-исторического тела природы. Это положение стало аксиомой, как отмечал С.А. Захаров.
2. Эволюционно-исторический принцип, воплотившийся в палеопочвоведении.
3. Принцип строго научного подхода при решении народнохозяйственных задач, сформулированный в концепции В.В. Докучаева об естественной правоспособности почв и нашедший яркое отражение во всех современных подходах к оценке почв.

Эти методологические принципы пронизывают всё теоретическое наследие Г.В. Добровольского. Анализ его научного творчества показывает, что преобладающим направлением в нём закономерно является география, что подчёркивает широту его мышления и его собственных исследований. География его работ охватывает территории от Крыма и Русской равнины до Дагестана, Западной Сибири, Забайкалья и Монголии. Это последовательно отразилось сначала в работах по районированию почвенного покрова России, а затем — в обобщениях мирового масштаба, в частности при создании Почвенной карты мира в 1976 году. Эта карта была разработана при участии целого коллектива сотрудников факультета почвоведения МГУ, среди которых особое место принадлежит профессору кафедры географии почв И.С. Урусевской.

Г.В. Добровольский предвосхитил экологизацию почвоведения. Хотя идея была блестяще сформулирована в монографии «Экологические функции почв» (1986), первые мысли на эту тему появились ещё в 1967 году, когда была предложена программа работ по прикладному районированию почв для сельского хозяйства и, в дальнейшем, это постоянно связывалось с вопросами географического характера и мониторинга окружающей среды.

Стремление Г.В. Добровольского исследовать почву на разных уровнях организации нашло последовательное отражение в работах — от световой микроскопии до сканирующей электронной микроскопии. Это направление получило дальнейшее развитие в трудах его ученика — члена-корреспондента РАН, профессора, заведующего кафедрой географии почв факультета почвоведения МГУ С.А. Шобы.

Особое место в научном наследии Г.В. Добровольского занимают исследования почв пойм — от субтропического пояса до Русской равнины, Западной Сибири и Дагестана. Эти работы составляют важнейшую часть цикла исследований почвенного покрова нашей страны. Именно на этой тематике выросло не одно поколение почвоведов нашего факультета.

Совершенно не случайно среди его учеников — один из ведущих специалистов в России по пойменным почвам, профессор П.Н. Балабо, ныне заведующий кафедрой общего земледелия и агроэкологии. Нельзя не упомянуть и других его учеников, ставших заведующими кафедрами факультета почвоведения: П.В. Красильникова (кафедра общего почвоведения), С.А. Шобу (кафедра географии почв), А.С. Яковлева (кафедра земельных ресурсов и оценки почв), С.Я. Трофимова (кафедра химии почв).

Методологические принципы, сформулированные Г.В. Добровольским, особенно показательны при сопоставлении единства теоретических подходов в почвоведении и геохимии ландшафта.

В меньшей степени обсуждается роль Г.В. Добровольского в области геохимии, хотя его вклад несомненен. Ещё в 1951 году им были установлены стадии выветривания диорита, продолжая исследования в этой области К.Д. Глинки (Добровольский, 1951). Позже на основании сравнения химического состава кутан и неветрелых частей обломков пород в 1978 году В.О. Таргульян предложил группировку типов выветривания, которая в 1993 году была положена в основу закона выветривания П.В. Ивашова (Ивашов, 1993). На этом примере видна не только междисциплинарная преемственность в системе «почвоведение — геохимия», но и чёткая историческая последовательность: экспериментальные исследования К.Д. Глинки → Г.В. Добровольского → типы выветривания по В.О. Таргульяну → закон выветривания по П.В. Ивашову.

Другой яркий пример геохимического мышления содержится в учении Г.В. Добровольского о поймах. Вот как он сам формулировал эту идею: «С биогеохимической точки зрения наиболее важная особенность почвообразования в поймах рек заключается в том, что круговорот жизненно важных элементов разворачивается в них на отрезке большого геологического круговорота, где сосредоточен интенсивный транзитный перенос этих элементов, не удерживаемых в биологическом круговороте на водоразделах и террасах»

(Добровольский, 1968, с. 224). Мысль о том, что в гумидном климате выносятся элементы, не удерживаемые в биологическом круговороте, тогда как в пойме наблюдается их транзит, близка к положению Б. Б. Польшова о связи состава живого вещества и ведущих элементов в природных водах. Сопоставление ведущих элементов в биологическом круговороте и основных элементов в стоке природных вод континентов подтвердило положения, сформулированные Б.Б. Польшовым и Г.В. Добровольским (Васильевская, Богатырев, 1999).

Слова В. И. Вернадского, взятые в качестве эпиграфа, не случайны. Во многих работах Г.В. Добровольского проявляется бережное отношение к истории почвоведения: это не только неоднократные обращения к трудам основоположника науки В.В. Докучаева или памяти М.В. Ломоносова, но и уважительное отношение к своим учителям и коллегам — профессорам Московского университета: Б.В. Виленскому, Н.П. Ремезову, А.Н. Сабанину, К.Д. Глинке.

Глеб Всеволодович Добровольский сочетал глубокие научные исследования с созданием фундаментальных учебных пособий. Его научный опыт нашёл яркое отражение в блестящих учебниках, ставших неотъемлемой частью образования в области почвоведения. Особенно выделяются «География почв» (в соавторстве с И.С. Урусевской) и «Экологические функции почв» (в соавторстве с Е.Д. Никитиным), которые являются жемчужинами научно-педагогического наследия.

«География почв», изданная в 1984 году и значительно переработанная в 2004 году, вошла в серию «Классический университетский учебник», систематизирует основы теории и практики почвенно-географического анализа. Эта работа основана на многолетних исследованиях почвенного покрова России и мира. Учебник стал стандартным пособием для студентов аграрных и географических специальностей, обеспечивая целостное понимание пространственного распределения почв.

«Экологические функции почв» представляет собой первое в российской литературе систематическое изложение роли почв в биосфере, их экологических функций и взаимодействия с другими компонентами природы. В 2006 году эта работа была расширена и переиздана как «Экология почв. Учение об экологических функциях почв», став основным учебником для курсов экологии и почвоведения в ведущих университетах страны.

В учебнике «Лекции по истории и методологии почвоведения» Г.В. Добровольский подробно рассматривает исторические этапы развития дисциплины от основоположника В.В. Докучаева до современных достижений, философские основы методологических подходов и их применение. Книга подчеркивает единство теоретических знаний и практических навыков, а также значение исторического контекста для решения актуальных экологических задач.

Эти издания демонстрируют роль почвоведения в понимании биосферы и устойчивом развитии планеты и формируют новое поколение специалистов, ориентированных на устойчивое природопользование.

Таким образом, научные труды Глеба Всеволодовича Добровольского не только продвинули почвоведение как науку, но и обеспечили прочную основу для подготовки специалистов в этой области. Его учебники остаются эталонными, обеспечивая преемственность поколений почвоведов.

Список литературы

1. Васильевская В.Д., Богатырев Л.Г. Функции почв как основного звена в цикле биологического круговорота веществ и устойчивость наземных экосистем // Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере, Отв. ред. акад. Г.В. Добровольский. Наука. Москва: 2003. С. 174–188.
2. Вернадский В.И. Из истории идей // Русская мысль. 1912. № 10. С. 123-138.
3. Добровольский Г.В. Изменение химического и минералогического состава концентрически скорлуповатой отдельности выветривающегося диорита по мере перехода от ядра отдельности к ее периферии // Ученые записки МГУ, № 141, 1951, С.175-183
4. Добровольский Г.В. Лекции по истории и методологии почвоведения (учебник), Изд. Московского университета, 2010, 230 с.
5. Добровольский Г.В. Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. Классический университетский учебник Изд-во Моск. ун-та, Изд. Наука. Москва, 2006. 362 с.
6. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины (монография) // Изд. МГУ, 1968, 295 с.
7. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: Издательство МГУ, 1986. 136 с.
8. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. 2-е издание, переработанное и дополненное (в серии «Классический университетский учебник»). Изд. МГУ, 2004. 458 с.
9. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. Изд. МГУ, 1984. 416 с.
10. Ивашов П.В. Биогеохимия внутрипочвенного выветривания. М.: Наука, 1993. 379 с.
11. Таргульян В.О., Ивлев А.М., Куликов А.В. Внутрипочвенное выветривание основных пород в хелювиальной и элювиально-глеевой обстановках (на базальтовых плато Дальнего Востока)// Почвообразование и выветривание в гумидных ландшафтах. М.: Наука, 1978. С. 7–65.

УДК 631.84:631.454

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ ВНУТРИПОЧВЕННЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ АЗОТА АРИДНЫХ И МЕРЗЛОТЫХ ПОЧВ АЗИАТСКОЙ РОССИИ: ЭФФЕКТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ ТЕРМОДИНАМИКИ

Будажапов Л.В.¹, Гамзиков Г.П.², Wang J.³

¹Бурятский государственный университет (Улан-Удэ),

¹Академия наук Республики Саха (Якутия) (Якутск), e-mail nitrolu@mail.ru

²Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск), e-mail gamolgen@rambler.ru

³Шаньдунский сельскохозяйственный университет (Тайань, Китай)

Проблема азота всегда была центральной и наиболее мотивированной для почв с низким плодородием и мерзлотным характером функционирования. Вопросы внутрипочвенной трансформации азота и характер скоростных проявлений, особенно при низком азотном фоне и слабой активности почвенной микрофлоры, в экстремальных режимах представляют несомненную значимость. В этом восприятии аридные и мерзлотные почвы Азиатской России (Бурятия, Забайкалье, Тыва, Хакасия, Якутия) и северной Монголии и Китая в силу низкого азотного фонда и энергетического их статуса служат представителями позитивного отклика на поступление извне дополнительных источников азота в виде азотных удобрений. Многолетняя практика исследований с ^{15}N на типичных почвах Западной и Восточной Сибири, Забайкалья и краткосрочных - в аридных режимах Монголии и Китая позволила раскрыть специфические и отличные от европейской части России как количественные, так и кинетические характеристики внутрипочвенной трансформации азота. Последние служили основой в обосновании построения новой диагностики азотного фонда этих почв в формате скоростных оценок, характер проявления которых подчиняется законам термодинамики. Предложенная парадигма фокусируется в этом преломлении на ряде ключевых аспектов.

Первый - направленность процессов иммобилизации - минерализации азота в почвах при поступлении извне дополнительных источников энергии (азот удобрений) обеспечивается различными кинетическими параметрами с разной кинетической активностью микробного их пула и отражает постоянно функционирующий во времени эффект внутрипочвенных превращений азота с разным энергетическим и энтропийным проявлением.

Второй - многолетние исследования с ^{15}N и отчасти с ^{14}N позволяют выстроить базу данных изменения скоростных параметров внутрипочвенной трансформации азота, а равно размерам и источникам пополнения азотного фонда этих почв с построением математических моделей для оперативной диагностики азотного их фонда на момент времени и разработкой на этой базе алгоритма цифрового помощника.

И третий - линейка основных и ключевых процессов внутрипочвенной трансформации азота в своем характере скоростных проявлений сопровождается изменением и энергетического состояния почвенной системы с разным энтропийным распределением вещества (азота) во времени и пространстве.

Совокупная оценка этих ключевых аспектов отражает проявление фундаментальных законов термодинамики (первый и второй) и принципа Ле-Шателье в частном порядке. Именно в этих подходах, на наш взгляд, реализуется основная современная теоретическая парадигма развития почвенных исследований в части внутрипочвенных процессов превращений азота с построением прогнозных сценариев и разработкой новых оперативных приемов диагностики азотного статуса аридных и мерзлотных почв в разных режимах их функционирования.

Основной массив исследований представлен многолетними микрополевыми опытами ($n = 25$) на типичных почвах Бурятии и Забайкальского края (каштановая, серая лесная, лугово-черноземная мерзлотная).. Высокая результативность обеспечивалась внесением меченой ^{15}N соли сульфата аммония разного обогащения (21.5 - 87.1 ат. % ^{15}N). При скользящем графике ежегодного внесения в две разные повторности весной почва через n - лет оказалась меченой по ^{15}N . Схема опытов включала три варианта: 1). контроль, без удобрений; 2). фон - P40K40; 3). фон + $^{15}\text{N}60$ в 4-кратной повторности с мониторингом азотного фонда почв в динамике. Подобная схема позволила через кинетику (k) внутрипочвенных превращений азота выявить характер и их направленность на момент времени (t). По результатам последних отследить судьбу иммобилизованного ^{15}N удобрений в год внесения и иммобилизованного ранее азота (^{15}N) с формированием иммобилизационно - минерализационного пула в прямом отклике (в год внесения) и в последствии на разный период отдаления (до трех - пяти, десяти и более лет). В схеме опытов имелись варианты с систематическим ежегодным и разовым внесением азота ^{15}N удобрений. В совокупном анализе полученных результатов, подобное позволило раскрыть

специфику (количество и кинетику) формирования иммобилизационного пула азота в почвах с разным уровнем плодородия, микробиологического и азотного статуса, а равно и характер минерализации азота под нагрузкой азотных удобрений при различной кинетической активности основных групп почвенных микроорганизмов (s- и r- стратегии). Именно в этом подходе, кинетика этих внутрипочвенных процессов, в т.ч. процессов ре-иммобилизации и ре-минерализации, позволила раскрыть кинетику оборота азотных пулов, которая выстраивалась по экспоненциальной регрессии с вычленением константы (k) скорости этих сопряженных во времени и пространстве процессов.

В этом рассмотрении совокупность многолетних данных с ^{15}N и теоретических подходов вкупе с математическим моделированием служило основанием для построения кинетической концепции внутрипочвенной трансформации азота, которая в ограниченном пространстве (0-20 см слой) и времени (полевой сезон), в частном определении, подчинялась классическим законам термодинамики и принципу Ле-Шателье.

Принципиально подобная интерпретация этих внутрипочвенных процессов трансформации азота определялась пониманием единого функционирования природных систем в целом. И в этом восприятии почвы не являются исключением, подчиняясь в разной степени общепризнанным законам термодинамики, в частности - трансформации энергии и возрастание энтропии. В этой смысле, эти процессы выступают частным их проявлением, характер и направленность которых вполне адекватно отражают термодинамический статус их функционирования во времени и пространстве.

Основной постулат обсуждений оборота количественных характеристик трансформации ^{15}N в почвах во времени (t) в ракурсе термодинамических проявлений связан с приложением понятий энергии и энергетических усилий (первый закон термодинамики) и кинетических проявлений и энтропии (второй закон термодинамики) в отношении функционирования в хрупких почвенных системах процессов иммобилизации - минерализации азота. Мотивационный критерий такого теоретического анализа и обобщения связан с единством процессов функционирования природных систем во времени и пространстве, в т.ч. и почв.

В этом контексте выделим два важных момента как исходная база представления подобного.

Первый - в оценках результатов и приложениях к этим законам «опускаем» и не затрагиваем момент, откуда берется исходная энергия в принципе (конкретно в почвах), так как подобное не обсуждается и вряд ли в обозримом будущем будет разрешена и констатируем переход из одного энергетического статуса в другой под воздействием изучаемых признаков. И второй - в строгом восприятии термодинамических понятий не все достигнутые результаты ожидаемо, корректны в отношении классического понимания законов термодинамики. Тем не менее, подобные попытки обобщения с позиций последних необходимы, позволяя найти единый механизм и принцип функционирования природных систем, в т.ч. и почвенных, которые в своем гомеостазе и функционировании являются уникальными и наиболее хрупкими.

Панорама многолетних исследований по оценке кинетических критериев внутрипочвенных превращений азота (иммобилизация ^{15}N удобрений и минерализация ^{14}N почв) вкупе с оценкой кинетической активности микробного пула этих специфических почв позволила впервые раскрыть новые характеристики этих процессов и термодинамический их отклик на поступление извне дополнительных энергетических источников (азот удобрений).

Этюд первый - кинетика иммобилизации ^{15}N удобрений. В низких по содержанию и бедных по составу азотного фонда аридных и мерзлотных почвах процесс иммобилизации азота в органическую форму микробного их пула служит ключевым индикатором его пополнения. Однако, кинетика этого важнейшего внутрипочвенного процесса азотной трансформации в них складывалась различно и характеризовалась рядом специфических моментов. Высокая кинетика процесса в почвах оказалась обратно пропорциональной

величине закрепления ^{15}N в органическую форму гетеротрофной микрофлорой. Меньшие статистики иммобилизации азота типичной каштановой ($41.1 \pm 1.4\%$) в сравнении с лугово-черноземной мерзлотной почвой ($53.3 \pm 1.3\%$) обеспечивались в первом случае большими кинетическими усилиями ($k = 0.449$ в сутки) нежели во втором ($k = 0.105$ в сутки). В этом раскладе, кинетические затраты процесса внутрипочвенной трансформации азота в почвах с низким плодородием и азотным фондом втрое превышали аналогичные микробным пулом в более плодородной почве с высоким азотным фондом. Иначе, большая иммобилизация азота удобрений в мерзлотной лугово-черноземной почве с высоким плодородием и азотным статусом обеспечивалась меньшими кинетическими (энергетическими) усилиями. При этом, характер зависимостей иммобилизации азота в этих почвах поддерживался в частном понимании фундаментальным принципом Ле-Шателье. При низком энергетическом статусе каштановой дополнительное извне поступление источника энергии (азот удобрений) нивелировало ее неблагоприятный режим функционирования, обеспечивая повышение азотного статуса (энергетического состояния) за счет активной иммобилизации азота при высоких кинетических усилиях. И наоборот, в почвах с высоким плодородием повышение статуса азотного их фонда при поступлении извне дополнительных источников энергии (азот удобрений) обеспечивается процессом иммобилизации при значительно меньших кинетических и энергетических усилиях. Отсюда, фундаментальный закон сохранения энергии в частном проявлении адекватно отражает приложение этого закона в отклике на процесс иммобилизации азота - энергетический статус почвенной системы (азотный фонд) под нагрузкой азота удобрений (источник энергии) трансформируется в другое более высокое состояние (возрастает азотный фонд) с исключением исчезновения энергетического состояния почвенной системы.

Этюд второй - кинетика активности микробной биоты в почвах. Внутрипочвенные процессы превращений азота обеспечиваются активностью почвенной микрофлоры. В этом смысле, впервые удалось значительно расширить эти представления с позиций кинетических усилий при разграничении понятий «роста» и «активности» почвенных микроорганизмов. Основные постулаты в реализации этой оценки выверены из работ блестящей плеяды авторов МГУ в области биологии почв. Благодаря этим уникальным исследованиям, впервые кинетическая концепция скоростных различий участия почвенных микроорганизмов в внутрипочвенных процессах трансформации азота и отклику на поступление дополнительных энергетических источников (азот удобрений) реализована в приложении к специфическим почвам. При всех различиях скудного таксономического и видового состава микрофлоры с доминированием актиномицетов в микробном их ценозе, кинетика (k) их роста, независимо от плодородия и азотного фонда, повсеместно оказалась слабой - $k = 0.0004 - 0.014$ в сутки. В отличие от этих скоростных параметров, кинетика (k) активности микроорганизмов почв при поступлении извне минеральных источников азота (фон+ $^{15}\text{N}60$) приобрела совершенно иную панораму. Выявлено резкое возрастание кинетической активности микрофлоры по экспоненциальному сценарию. В каштановой почве кинетика активности возростала до величин $k = 0.010 - 0.011$ в сутки и особенно - в мерзлотной лугово-черноземной почве ($k = 0.129 - 0.434$ в сутки). Адекватно этому усилению кинетической активности микрофлоры, возростала и кинетика процесса иммобилизации азота (^{15}N) удобрений в почвах, достигая соответственно величин констант их активности $k = 0.105$ и $k = 0.449$ в сутки. Выявленный сопряженный характер кинетических параметров процессов иммобилизации азота с активностью микробного пула почв в функционировании этого процесса внутрипочвенных превращений азота удобрений вполне адекватно отражает эффект фундаментальных законов термодинамики и принципа Ле-Шателье в частном приложении. В плодородной почве с более высоким энергетическим ее статусом (лугово - черноземная) большая кинетическая активность микробного пула под воздействием азота

удобрений обеспечивала и большую величину иммобилизации азота при значительно меньших кинетических (энергетических) усилиях самого процесса. И наоборот, в бедной по плодородию почве (каштановая) с более низким энергетическим ее статусом, значительно меньшая кинетическая активность микрофлоры сопровождалась значительно более высокими кинетическими (энергетическими) затратами этого процесса на повышение низкого азотного ее фонда или энергетического статуса этой почвы. Кинетика и энергетика активности микробного пула почв в обоих случаях обеспечивала повышение азотного (энергетического) их состояния с разными кинетическими усилиями микрофлоры почв.

Этюд третий - кинетика процессов минерализации иммобилизованного азота удобрений в почвах, почвенного азота и ранее иммобилизованного азота. Кинетика этих процессов в совокупности направлена на пополнение скудных запасов доступного минерального азота и выступает противоположно направленным процессом иммобилизации азота в этих почвах, которые находятся в сопряженном равновесии. Характеристика скоростных проявлений (k) процессов минерализации азота во времени (t) позволяет выстроить диагностику доступного азота и определить потенциал минерализации (N_0) почвенного (ранее иммобилизованного) азота под воздействием азотных удобрений. В этом обширном массиве почв Азиатской части подобные оценки ранее никогда не предпринимались. Высокая кинетика (k) минерализации лабильной фракции почвенного азота (иммобилизованного ^{15}N удобрений) в каштановой почве ($k = 0.148 \text{ год}^{-1}$) с низким азотным фондом оказалась почти втрое выше аналогичной для лугово-черноземной мерзлотной почвы ($k = 0.053 \text{ год}^{-1}$) с высоким азотным фондом. Подобная кинетическая панорама отражала высокую устойчивость этой подвижной фракции азотного фонда мерзлотной почвы нежеле каштановой. Следовательно, почвы с высоким плодородием и высоким энергетическим состоянием, более длительный период времени поддерживают свой достигнутый энергетический статус вследствие меньшей дисперсии (по разбросу величин) и значительно меньшего энтропийного распределения вещества (азота), отражая в этой оценке проявление второго фундаментального закона термодинамики для изолированных (условно) почвенных систем. В аридных почвах с низким энергетическим обеспечением, наоборот, отмечен значительный разброс величин вокруг математического ожидания (дисперсия) и большее энтропийное распределение азота во времени при высокой кинетике (k) процесса минерализации, значительно снижая в этом проявлении состояние их азотного фонда. В этой результативности, отражается проявление фундаментального первого закона термодинамики (энергия) в сочетании с проявлением второго закона (кинетика) для внутрипочвенных превращений азота во времени и пространстве. Схожая панорама отклика выявлена и для трудно гидролизуемых фракций почвенного азота (ранее иммобилизованного ^{15}N). В этом случае, кинетика более устойчивых форм азота в почвах при поступлении азота удобрений оказалась значительно ниже и кинетическая константа (k) минерализации азота оказалась слабой и составила соответственно почвам $k = 0.008 \text{ год}^{-1}$ и $k = 0.0009 \text{ год}^{-1}$, отражая незначительный потенциал (N_0) минерализации почв азота, особенно в мерзлотной. На контроле (без удобрений) в отсутствии пополнения извне кинетика минерализационных процессов почвенного азота сопровождалась значительным снижением азотного их фонда. В целом, доказанный разный кинетически эффект внутрипочвенной трансформации азота (удобрений и почв) в специфических режимах (аридность и мерзлота) поддерживался фундаментальными законами термодинамики вкупе с принципом Ле-Шателье в частном проявлении как практика устойчивого функционирования и оборота азота в почвах аридного и мерзлотного ряда. Кинетика формирования иммобилизационно - минерализационного пула азота в последних с кинетической оценкой активности микробного пула представлена впервые для Азиатской России.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОСЛЕДНЕГО МЕЖЛЕДНИКОВО-ЛЕДНИКОВОГО ЦИКЛА НА СЕВЕРЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЛЕССОВО-ПОЧВЕННОЙ СЕРИИ РАЗРЕЗА ЛИХВИН

Буланова Е.А.^{1,2}, Калинин П.И.³, Панин П.Г.⁴, Занина О.Г.³, Куприянов Д. А.⁴

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва;

²НИЦ Курчатовский институт, Москва;

³Институт Физико-Химических и Биологических Проблем Почвоведения РАН, Пущино;

⁴Институт географии РАН, Москва.

elis.bulanova@mail.ru

Сопоставление палеоклиматических условий морских изотопных стадий (МИС) 5–2 с современными климатическими трендами позволяет установить аналоги для различных сценариев глобального потепления и похолодания, выявляя фундаментальные закономерности реакции природных систем на климатические изменения. Особую ценность в этом контексте представляют разрезы с непрерывной стратиграфической записью, такие как лёссово-почвенные серии Русской равнины, которые служат одним из наиболее полных природных архивов четвертичного периода в Евразии.

Ключевым объектом такого рода на протяжении более века остается разрез Лихвин, расположенный на севере Среднерусской возвышенности. В данном исследовании на основе комплексного анализа литологических и почвенных характеристик разреза проведена реконструкция палеогеографических условий формирования лёссов и палеопочв позднего плейстоцена. Была детально описана морфология палеопочв, проведен анализ магнитной восприимчивости (МВ) и гранулометрического состава, изучено микростроение карбонатных конкреций (журавчиков) в брянской палеопочве (МИС 3) и лёссе (МИС 4 и 2), а также микроморфология мезинского педокомплекса (МИС 5).

Результаты гранулометрического анализа демонстрируют увеличение вверх по разрезу содержания пылевой фракции (5–50 мкм) при одновременном снижении доли илистой фракции (<5 мкм). Эта тенденция свидетельствует о накоплении все более грубого эолового материала на протяжении позднего плейстоцена. Распределение индекса размера зерна (GSI) указывает на максимальное усиление скорости ветра и интенсификацию осадконакопления в период валдайского оледенения. Для палеопочв характерно повышенное содержание илистой фракции, что типично для лёссово-почвенных серий Русской равнины. Анализ магнитной восприимчивости показал, что в палеопочвах степного типа создаются оптимальные условия для образования супердисперсных форм сильно (магнетит, маггемит) и слабо (гематит, гетит) магнитных минералов железа, в то время как в палеопочвах лесного типа прирост показателя в гумусовых горизонтах, как правило, не наблюдается. Таким образом, параметр МВ надежно дифференцирует почвы лесного и степного типов в разрезе. Климатический тренд в Микулинское межледниковье носит менее однозначный характер. Значительную роль в увеличении МВ в интерстадиальных палеопочвах степного типа на рубеже ранневалдайского оледенения могут играть фазовые переходы минералов железа, индуцированные пожарами. В лесных палеопочвах распределение МВ имеет более сложный характер, обусловленный текстурной дифференциацией и процессами оглеения.

Карбонатные конкреции (журавчики) были идентифицированы в верхней части брянской палеопочвы, в перекрывающем её валдайском лёссе, а также в нижележащем лёссовом горизонте (МИС 4). Различия в структуре и химическом составе конкреций из слоев МИС 3–2 и МИС 4 свидетельствуют об их формировании в гидроморфных условиях, вызванных оттаиванием мерзлотных фронтов до и после средневалдайского интерстадиала.

На основе макро- и микроморфологического анализа в составе Мезинского педокомплекса разреза Лихвин впервые выделены три палеопочвы, коррелируемые со стадиями МИС 5e,

МИС 5с и МИС 5а. Данная стратиграфическая модель соответствует полным лёссово-почвенным разрезам Северного полушария и согласуется с изотопно-кислородной шкалой. Обилие углей в верхних горизонтах всех палеопочв МИС 5 указывает на поверхностные пожары, характерные для перехода к валдайскому оледенению. Анализ строения углей в каждой из палеопочв подтвердил различие в составе растительных сообществ, затронутых пожарами.

Впервые для разреза Лихвин был применен фитолитный анализ, позволивший изучить количественное и качественное распределение фитолитов в позднеплейстоценовых отложениях. Установлено, что в интервале МИС 5 в ряду палеопочв МИС 5е → МИС 5с → МИС 5а нарастала аридизация климата, выражавшаяся в обеднении растительных сообществ — переходе от луговых ассоциаций к монотонным разнотравным (вероятно, низкорослым) формациям.

Комплексное изучение слоев лёссов и палеопочв разреза Лихвин раскрывает динамику природных условий в ключевой переходный период — от климатического оптимума последнего межледникового (МИС 5е) через начало валдайского криохрона вплоть до последнего ледникового максимума (МИС 2).

УДК 631.417.2

ДИАГНОСТИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВЕ ЧИСТОГО ПАРА ПОСЛЕ МНОГОЛЕТНЕГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ И ОРГАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ

Л.Н. Вальков¹, Н.Б.Зинякова², Т.Н.Лебедева²,

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, leonid05valkov3004@gmail.com;

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, nakhodkanbz@mail.ru, tanyaniko@mail.ru

Крупнейшим резервуаром органического вещества в биосфере, источником и стоком диоксида углерода является почва. Естественным драйвером смягчения климатических рисков рассматривается органический углерод почвы ($C_{\text{орг}}$), а почвенное органическое вещество (ПОВ) является его динамичной формой преобразования и хранения. В результате почвенной секвестрации атмосферного диоксида углерода с помощью комплекса агробιοтехнологий происходит накопление органического углерода в почве, а интенсивное применение минеральных и органических удобрений с целью увеличения углеродсеквестрирующего потенциала растений сопровождается увеличением содержания в почве азота, фосфора и калия. С экологической точки зрения обогащение почвы биофильными элементами правомочно называть эвтрофикацией, а истощение почвы – олиготрофикацией. Эвтрофикация и олиготрофикация присущи наземным и водным, природным и сельскохозяйственным экосистемам. В агроэкосистемах и сопредельных средах признаки эвтрофикации или олиготрофикации могут проявляться в течение нескольких лет и сохраняться продолжительное время. При возделывании растений без удобрений почва постепенно обедняется элементами минерального питания, но минерализационные потери углерода частично или полностью компенсируются растительными остатками. В условиях чистого пара предполагается наличие не тотальной олиготрофикации всех биофильных элементов, а углеродной в результате гетеротрофного дыхания микроорганизмов, и в меньшей мере – азотной, за счет нитрификации и денитрификации. Учитывая тот факт, что ПОВ является и источником биофильных элементов, и местом их аккумуляции, исследование биологических и химических характеристик ПОВ позволяет оперативно и информативно установить тенденцию дегумусирования почвы, под которым понимается обеднение почвы органическим веществом. В качестве индикаторов ранних этапов дегумусирования предполагается использовать комплекс таких показателей, как микробная биомасса, базальное дыхание, потенциально-минерализуемое органическое вещество, и химически-окисляемое органическое вещество. Использование этих показателей позволяет уловить качественные

изменения в составе ПОВ за краткосрочный период, что не всегда осуществимо при измерении валового содержания $C_{орг}$.

Целью работы было оценить развитие дегумусирования (углеродной олиготрофикации) почвы после замены длительного возделывания сельскохозяйственных культур чистым паром и прекращения внесения минеральных и органических удобрений. В условиях чистого пара единственной статьёй круговорота углерода являются его эмиссионные потери из почвы, связанные с деятельностью почвенных микроорганизмов.

Исследования проводили в многолетнем микрополевым опыте на серой лесной почве. Предварительно ежегодно на протяжении 9 лет применяли минеральные ($N\ 90-360$, $P_2O_5\ 75-300$ и $K_2O\ 100-400$ кг/га) и органические (свежий навоз крупного рогатого скота от 25 до 100 т/га) удобрения в возрастающих дозах, что соответствовало периоду удобрительной эвтрофикации. Было проведено две ротации 5-польного севооборота, образцы почвы отбирали после уборки урожая. В последующие годы опыта растения не возделывались, а минеральные удобрения и навоз не вносились, тем самым осуществлялся переход к олиготрофикации почвы. Повторность опыта трехкратная. Содержание общего ($C_{орг}$) углерода и общего азота ($N_{общ}$) определяли с помощью CNHS-анализатора (Leco 932) сухим сжиганием. Содержание в почве углерода микробной биомассы ($C_{мик}$), базального дыхания (БД) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания. Измерение и анализ газовых проб проводили на газовом хроматографе КристалЛюкс-4000М (Россия). Перманганат-окисляемый углерод (РОХС) определяли по изменению оптической плотности раствора перманганата калия.

После 9-ти летнего ежегодного внесения минеральных удобрений и навоза в возрастающих дозах (период удобрительной эвтрофикации) прирост содержания $C_{орг}$ в почве от НРК составил в среднем 0.25%, а в вариантах с органическими удобрениями – 0.70-1.44% в зависимости от дозы навоза. Внесение экстремальных доз навоза (от 700 до 900 т/га за 9 лет) вело к насыщению почвы органическим углеродом. В серой лесной почве за 5 лет постудобрительного периода в условиях чистого пара наметилась тенденция уменьшения содержания общего органического углерода (рисунок 1). Убыль $C_{орг}$ в почве без удобрений составила 0.15%, в вариантах последействия минеральных и органических удобрений – 0.09-0.15% и 0.28-0.40%. Чем выше было исходное содержание $C_{орг}$, тем больше терялось его из почвы. Через 5 лет чистого пара сохранялась та же последовательность между вариантами по содержанию $C_{орг}$, которая сформировалась в период применения удобрений: Без удобрений < НРК(1) = НРК(2) < НРК(3) < НРК(4) < Навоз 25 т/га < Навоз 50 т/га < Навоз 75 т/га < Навоз 100 т/га.

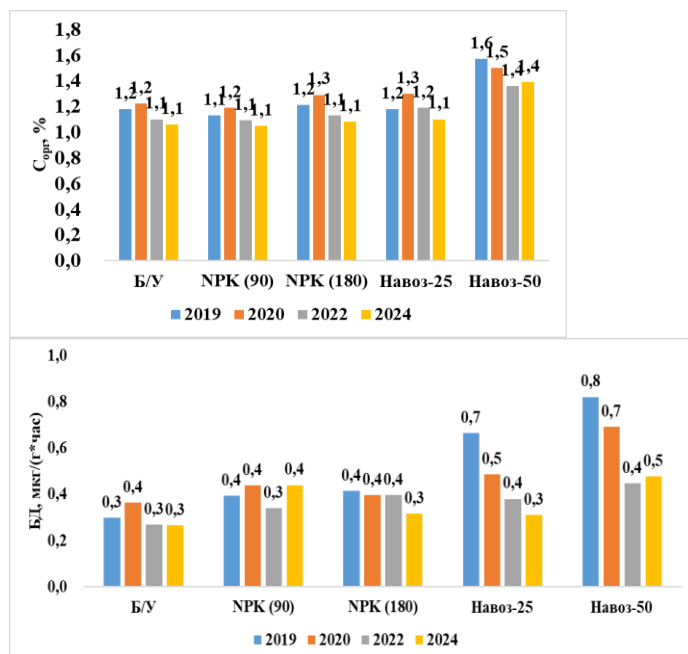


Рис. 1. Динамика содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$) и базальное дыхание (БД) в серой лесной почве чистого пара после прекращения использования минеральных и органических удобрений. Примечание: 2019 г. – заключительный год применения удобрений, 2020 г. – начало периода углеродной олиготрофикации

Содержание $C_{\text{мик}}$ в почве в зависимости от вида и дозы удобрений, выращиваемой культуры, погодных условий года варьировало на протяжении периода удобрительной эвтрофикации (9 лет) от 0.09 до 0.56 г/кг почвы, что составляло 0.8–3.7% от $C_{\text{орг}}$. Возрастающие дозы НРК и навоза принципиально по-разному влияли на микробный пул почвы. Если увеличение доз навоза от умеренных до экстремальных способствовало накоплению микробной биомассы в среднем за 9 лет в 1.5–2.6 раза по сравнению с контролем, то небольшое положительное влияние в 1.1 раза умеренных доз НРК(1) сменялось уменьшением $C_{\text{мик}}$ в 1.2 раза при экстремальных дозах НРК(4). В условиях чистого пара в постудобрительный период наблюдалось снижение размеров микробного пула по всем вариантам. Пул потенциально-минерализуемого углерода был всегда больше микробного пула. Базальное дыхание (БД) характеризует как физиологическую активность микроорганизмов-деструкторов, так и доступность органических субстратов микроорганизмам. Величина БД в почве с органической системой удобрения была существенно выше в период ежегодного внесения навоза и зависела от его дозы. В постудобрительный период наиболее заметное снижение интенсивности дыхания микроорганизмов происходило на органическом фоне (рисунок 1). На минеральном фоне и на контроле показатели БД практически не изменялись во времени и не зависели от дозы НРК. Перманганат-окисляемый углерод (РОХС) характеризует наиболее лабильную и легко-окисляемую часть ПОВ. Содержание фракции РОХС в исследуемых вариантах опыта в последний год внесения минеральных и органических удобрений составляло 38–41 и 52–63 мг/100 г. После прекращения возделывания культур и использования удобрений началось устойчивое снижение содержания РОХС в серой лесной почве под чистым паром. Чем продолжительнее находилась почва под чистым паром, тем отчетливее было обеднение почвы химически окисляемой фракцией органического вещества. Таким образом, накопившийся за счет систематического внесения минеральных и особенно органических удобрений углерод не сохраняется в почве в неизменном количестве, а подвергается минерализационным потерям. Отсутствие компенсации минерализационных потерь углерода свежим органическим веществом в условиях чистого пара сопровождается дегумусированием почвы. Наиболее быстрое обеднение почвы

свойственно химически легко-окисляемой и используемой микроорганизмами фракциям органического вещества. Продолжение опыта позволит установить скорость и размеры дегумусирования почвы в зависимости от предшествующей удобренности. Работа выполнена в рамках государственного задания (рег. № 123040500037-6).

УДК 547.912:631.41:628.543.1

МЕТОДЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ И ГРУНТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМИ ПОЛЛЮТАНТАМИ

Васильева Г.К.

ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, gkvasilyeva@rambler.ru

Одним из важнейших факторов, снижающих плодородие почв, является их загрязнение различными химикатами. Насчитываются тысячи различных загрязнителей, большинство из которых аккумулируется в почве. В государственном реестре объектов накопленного экологического вреда содержится информация о загрязненных землях площадью 5,5 тыс. га.

Доклад посвящен описанию различных технологий очистки почв и грунтов, загрязненных органическими поллютантами. Будут приведены примеры наших разработок методов рекультивации почв и грунтов, загрязненных различными классами органических поллютантов, предложенных для ликвидации последствий аварийных разливов или хронического загрязнения.

Наиболее перспективным методом для очистки почв от поллютантов органической природы считается *in situ* биоремедиация. Она направлена на активацию процессов микробной деградации поллютантов в загрязненных почвах путем оптимизации факторов окружающей среды: гидротермических условий, pH среды, аэрации и внесения основных биофильных элементов (NPK) в виде минеральных или органических удобрений для активации аборигенных микроорганизмов-деструкторов (МД) либо интродуцированных штаммов в виде биопрепаратов. В настоящее время разработаны сотни биопрепаратов на основе выделенных штаммов МД или их смесей. Однако применение биоремедиации во многих случаях ограничено из-за повышенной токсичности почв, загрязненных высокими концентрациями поллютантов, и неблагоприятными физико-химическими условиями, снижающими способность МД разлагать ксенобиотики. Для решения этой проблемы нами был предложен метод сорбционной биоремедиации, основанный на дополнительном внесении оптимальных форм и доз сорбентов.

I. Первые наши исследования были проведены на почвах рисовников Краснодарского края, загрязненных в результате аварийного разлива 17 тонн гербицида пропанида на сельскохозяйственном аэродроме. Ежегодно во всем мире в почву поступают около 100 тыс. различных пестицидов в количестве 4 млн. тонн. Хотя почвенная микрофлора способна адаптироваться к различным загрязнителям, разлагая их до нетоксичных продуктов, однако эта способность микроорганизмов не безгранична. Гербицид пропанид (3,4-дихлорпропионанид) ранее широко использовался на рисовых чеках, однако его разложение в почве приводило к накоплению более стойкого метаболита 3,4-дихлоранилина (ДХА). Исследования, проведенные совместно с микробиологами из ИНМИ РАН (Э.Г. Суровцевой и др.), позволили выделить из почвы рисовников несколько уникальных штаммов (*Pseudomonas diminuta* ИНМИ КС7, *Paracoccus denitrificans*, *Aquaspirillum intersonia*, *Alcaligenes faecalis*), способных расти на среде с моно-хлоранилинами и ДХА в качестве единственных источников углерода и энергии. Однако из-за накопления токсичных метаболитов рост выделенных штаммов-деструкторов хлоранилинов возможен только при концентрации ДХА 50–150 мг/л. Тем не менее, проведение биоремедиации загрязненной территории путем внесения выделенных штаммов в комбинации с гранулированным активированным углем (ГАУ) позволило ликвидировать последствия аварийного разлива пропанида. Уже к концу вегетационного

сезона концентрация пропанида в почве снизилась с 12 000 до 200 мг/кг, а территория заросла сорной растительностью. В экспериментах с меченым ^{14}C -ДХА доказана практически полная микробная доступность молекул ДХА, сорбированных гранулами ГАУ.

II. В последующих экспериментах были разработаны методы сорбционной биоремедиации для очистки почв, загрязненных другими поллютантами органической природы. Среди других деградируемых поллютантов можно назвать класс низкохлорированных фенолов. Эксперименты проводили с помощью бактериального штамма *Rhodococcus opacus* GM-14, способного расти на хлорфенолах, который был предоставлен автором Г.М. Зайцевым. Инокулирование биомассы этих микроорганизмов в почву, загрязненную 4-хлорфенолом или 2,4-дихлорфенолом ($\text{Co}=5700$ и 1000 мг/кг соответственно), на фоне внесения 1 или 2% ГАУ позволило в течение 4-х месяцев обеспечить разложение 80-90% поллютантов, а также снизить фитотоксичность почв до минимума $\square\square\square<20\%$.

III. Примером малodeградируемых поллютантов могут служить полинитроароматические соединения, в частности 2,4,6-тринитротолуол (ТНТ). Исследования проводились в лаб. проф. J.M. Bollag (PennState University) и в лаб. проф. P. Shea (University of Nebraska Lincoln). Эксперименты проводили с почвой, исторически загрязненной ТНТ, отобранной на территории бывшего военного завода. Инкубирование почвы, загрязненной ТНТ ($\text{Co}=2000$ мг/кг), в присутствии 1% ГАУ привело к резкому снижению концентрации легкодоступного ТНТ с образованием прочно связанных продуктов, а фитотоксичность почвы снизилась до минимума. Эксперименты с меченым ^{14}C -ТНТ показали, что до 90% исходного ^{14}C прочно связывается активированным углем, а фитотоксичность почв снижается до минимума, обеспечивая благоприятные условия для роста растений кукурузы. Установлен механизм образования связанных производных ТНТ. В загрязненной почве с добавками ГАУ в результате микробного восстановления нитро-группы молекулы ТНТ происходит образование метаболитов: нитрозо- и гидроксиламино-производных. Одновременно с этим происходит каталитическое окисление метильной группы ТНТ на поверхности активированного угля с образованием производного в виде $\cdot\text{CH}_2$ -радикала с последующей его трансформацией в производные альдегида и далее бензильного спирта. Взаимодействие образующихся химически активных молекул приводит к образованию прочно связанных полимерных продуктов во внутрипоровом пространстве ГАУ.

IV. В качестве примера стойких органических загрязнителей приведем эксперименты с почвами, хронически загрязненными полихлорированными бифенилами (ПХБ). Эксперименты проводили на территории, примыкающей к Серпуховскому заводу КВАР (ранее завод Конденсатор), где с 1944 по 1988 гг. при производстве электрохимического оборудования использовались электроизоляционные масла на основе ПХБ. Из-за несовершенства технологии прилегающая к заводу территория, а также часть сельхозугодий вблизи города была загрязнена ПХБ - соединениями, которые относятся к суперэкоотоксикантам. Исследованиями, проведенными В.А. Ивановой в период с конца 90-х до начала 2000-х гг., было установлено гигиеническое неблагополучие территории в юго-западной части г. Серпухова, которое было обусловлено накоплением ПХБ в объектах окружающей среды и продуктах питания. Содержание ПХБ в почве колебалось в пределах $4\text{--}5230$ мг/кг, а в воде водоемов $\square\square 0,01\text{--}4,6$ мг/л. В этой части города отмечался высокий уровень смертности и отрицательный естественный прирост населения. Наши наблюдения, проведенные в период с 1998 по 2019 гг. совместно с М.И. Лапушкиным (ВНИИ Гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова) и сотрудниками НПО «Тайфун», показали, что в течение всех 20 лет происходило накопление низкохлорированных конгенов ПХБ в результате анаэробного дехлорирования молекул ПХБ на заболоченной территории вблизи завода. Этот процесс сопровождался постепенным выносом низкохлорированных ПХБ с территории завода вниз по уклону

местности. В результате концентрация ПХБ в почве вблизи завода снизилась с 4300 до 5 мг/кг, а в нижней части примыкающего участка возросла со 100 до 3470 мг/кг (т.е. с 5 до 174 тыс. ОДК). На базе нашего Института были проведены микрополевые эксперименты на почвах, отобранных из 3-х точек на загрязненной территории вблизи завода с уровнем загрязнения ПХБ 140, 223 и 4543 мг/кг (от 7 до 227 тыс. ОДК). Было показано, что выращивание саженцев древесных растений (тополя черного (*Populus nigra*) и ивы прутовидной (*Salix viminalis*) на фоне внесения стерилизованного осадка сточных вод (ОСВ) или биоугля (пиролизированного ОСВ) резко повышает дегидрогеназную активность почв и снижает их фито- и биотоксичность. Установлен механизм ускоренной детоксикации ПХБ-загрязненных почв. В почвах с добавками ОСВ и биокоса происходит активация аборигенных микроорганизмов-деструкторов ПХБ, что ускоряет разложение деградируемых низкохлорированных конгенов ПХБ с 3, 4 и 5 атомами хлора, а высокостойкие конгены ПХБ с 6-8 атомами хлора, присутствующие в незначительных количествах, поглощаются корневой системой древесных растений и удаляются вместе с однолетними саженцами. Получен патент РФ №2774078 «Способ фиторемедиации почв, загрязненных полихлорированными бифенилами».

V. Одной из важнейших задач в настоящее время является необходимость разработки методов очистки почв и грунтов от нефти и нефтепродуктов. В 2021 году в России зарегистрировано >10 тыс. аварийных разливов нефти, из которых около 6 тыс. случаев — на нефтепроводах. Всего за 2021 г. из-за порывов нефтепроводов было потеряно 94 тыс. тонн нефти (Гос. Доклад, 2022). Несмотря на явные преимущества метода биоремедиации нефтезагрязненных почв, его применение возможно только на умеренно загрязненных почвах (<3–5% УВН) из-за их высокой токсичности и длительности очистки.

В нашем Институте совместно с другими организациями ФИЦ ПНЦБИ РАН и РФ проведены многолетние исследования по разработке метода сорбционной биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Исследования проводили на образцах почв разных типов, отобранных на территории Русской равнины, а также в Северо-Западной Сибири, в местах добычи и транспортировки нефти и нефтепродуктов. Исследования были начаты в 2013 г. в лаборатории проф. Д.Л. Пинского, а в настоящее время продолжаются в лаборатории проф. В.Н. Башкина в отделе чл.-корр. А.О. Алексеева. Полученные результаты легли в основу 3-х кандидатских диссертаций: В.С. Кондрашиной, Л.В. Зиннатшиной и Е.Е. Михедовой.

Доказано, что применение метода сорбционной биоремедиации существенно расширяет возможности биологической очистки нефтезагрязненных почв в условиях *in-situ*. Внесение биопрепарата Микробак, разработанного в лаборатории чл.-корр. В.М. Боронина в ИБФМ РАН, на фоне внесения ГАУ и, особенно, композитного сорбента АУД (смесь ГАУ и диатомита) резко ускоряло разложение углеводородов нефти (УВН) в серой лесной почве, загрязненной 10 или 15% нефти. При этом внесение сорбента значительно повысило численность нефтедеструкторов и обеспечило разложение около 77 и 90% УВН к концу 1-го и 2-го сезонов соответственно. Кроме того, в присутствии сорбентов наблюдалось резкое снижение накопления промежуточных продуктов микробного окисления УВН, отличающихся высокой токсичностью и подвижностью. В результате концентрация этих метаболитов в промывных водах и их токсичность снизились до минимума, что создало условия для проведения биоремедиации нефтезагрязненных почв непосредственно на участке.

В другой серии экспериментов было показано, что для проведения сорбционной биоремедиации нефтезагрязненных почв могут быть использованы сорбенты разных классов: минеральные (каолинит, цеолит, вспученный вермикулит, диатомит), углеродистые (активированный уголь и биочар) и органические (торф, растительные остатки, Спилсорб). Механизм положительного действия этих сорбентов связан со снижением фито- и биотоксичности почв, а также с уменьшением их гидрофобности и

повышением предельной полевой влагоемкости. Это создает более благоприятный гидротермический режим почв, обеспечивая условия для активации нефтедеструкторов. При этом, несмотря на некоторое замедление разложения наиболее опасной группы УВН – полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), включая банз(а)пирен, не происходит их накопления в надземной массе растений выше допустимой нормы. Расчеты показали высокую экономическую эффективность технологии сорбционной биоремедиации. Ее стоимость в ценах 2018 г. варьировала в пределах от 1-4 до 18 млн. руб. за га. Это в разы или десятки раз ниже, чем стоимость экскавирования и транспортировки загрязненного грунта на специальные полигоны для его захоронения, особенно в случае удаленного расположения полигонов от места нефтеразлива. Следует учитывать, что большинство нефтегазодобывающих регионов России расположено на севере Западной Сибири, где распространены песчаные глеево-подзолистые почвы. Из-за низкой буферности этих почв и сурового арктического климата применение традиционного метода биоремедиации для их очистки от нефти малоэффективно. В наших работах впервые была установлена возможность использования сорбционно-биологического метода для очистки глеево-подзолистой почвы от нефти (исходно 7%). Внесение композитного сорбента на основе ГАУ и диатомита (4:1), или Спилсорба позволило за 2-3 теплых сезона снизить фитотоксичность почвы до минимума, а суммарное содержание углеводородов нефти до допустимого уровня ($\leq 0,5\%$), установленного на территории ХМАО для рекультивированных почв сельхозугодий. Аналогичный результат был получен и с образцами подзола иллювиально-железистого, в которых концентрация УВН снизилась с 12% до допустимого уровня уже к середине 2-го сезона обработки. Доказано также, что использование метода сорбционной биоремедиации эффективно для очистки от сырой нефти литострата песчаного, состоящего из карьерного песка, которым покрыта территория в г. Сургуте и его окрестностях до глубины 0,5 м. Внесение композитного сорбента на основе ГАУ, диатомита и торфа снизило концентрацию УВН с 12% до допустимого уровня ($\leq 1,5\%$), установленного для минеральных почв нефтедобывающих районов ХМАО.

VI. Другой важнейшей проблемой современности является необходимость разработки метода очистки прибрежных территорий от нефти и нефтепродуктов из-за участившихся случаев аварийных утечек этих компонентов в результате крушений танкеров в морях и океанах. Недавний аварийный разлив мазута произошел в Керченском проливе в декабре 2024 г. в результате крушения двух танкеров речного флота компании «Волгатранснефть» после их незаконного выхода в открытое море в период 5-7-бального шторма. В результате из 9 тыс. тонн перевозимого топочного мазута около 8 тыс. тонн оказалось в акватории Азовского и Черного морей, часть которого была выброшена на берег. В результате около 70 км береговой линии Краснодарского края и побережья Крыма было загрязнено мазутом. Эта авария была признана самой серьезной экологической катастрофой России с начала XXI века, и был объявлен режим ЧС федерального уровня. В отличие от нефти, содержащей разные компоненты углеводородов, большая часть которых может служить ростовым и энергетическим субстратом для нефтедеструкторов, топочный мазут марки М-100 представляет собой остаточную фракцию атмосферной перегонки нефти с температурой кипения выше 350°C . В его состав входят высококипящие углеводороды с молекулярной массой в пределах 400-1000, а также нефтяные смолы, асфальтены и другие органические соединения, содержащие S, N, O и металлы: V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca. При температуре $<250^{\circ}\text{C}$ мазут приобретает твердую консистенцию, что позволило в течение первых зимне-весенних месяцев провести частичную очистку песка от кусков мазута непосредственно на пляжах Анапы и Крыма путем его просеивания. После этого грунт был вывезен на специально оборудованный полигон, расположенный в промзоне под Анапой. В результате было собрано >165 тыс. тонн пескогрунта, содержащего до 17% мазута, а также ракушечника и гальки, смешанных с кусками мазута. Сложный состав мазута резко снижает возможности его биоремедиации,

что затрудняет очистку пескогрунта биологическими методами. Совместно с аспирантом С.А. Дроздовым была разработана комплексная технология для очистки вывезенного на полигоны пескогрунта. Технология отмывки замазученного песка состоит в отсеивании загрязненного песка от кусков мазута с последующей отмывкой песка с помощью водной эмульсии дизельного топлива, откачивании верхней дизельной фракции с помощью специальных насосов и дальнейшего отделения отмытого песка от жидкой фракции декантированием. В результате получают 3 компонента: 1) мазутно-дизельную фракцию, которую направляют на нефтеперегонное предприятие для разделения на исходные компоненты; 2) малотоксичную водную фракцию и 3) очищенный песок. В наших экспериментах с замазученным песком, доставленным с побережья Анапы, с помощью данной технологии концентрация нефтяных загрязнителей в песке снизились с 7% до допустимого уровня ($<0,1\%$), а фито- и биотоксичность водной фракции после ее обработки в биореакторе не превышала 10-15%. Полученный таким образом очищенный песок может быть использован для получения цементно-бетонных блоков либо в качестве грунта для выращивания декоративных растений. Уровень остаточного содержания УВН в водной фракции позволяет сливать ее в канализацию.

УДК 631.417

ОСОБЕННОСТИ ГУМУСООБРАЗОВАНИЯ В ПЛИОЦЕНОВЫХ ПАЛЕОПОЧВАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Вашукевич Н.В.

ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, Екатеринбург, e-mail: vashukevich@urgau.ru

Введение.

Плиоценовые палеопочвы Западного Забайкалья являются значимым информационным архивом экологических условий конца кайнозоя. При сходном региональном климате остаётся открытым вопрос: за счёт чего формируются различия в составе гуминовых кислот (ГК) - климатической динамики или литологической (минеральной) матрицы?

Цель работы: на примере разрезов Тологой и Удунга показать роль литологии в формировании ИК-подписей ГК плиоценовых почв

Объекты и методы.

Объекты: плиоценовые отложения стратотипических разрезов кайнозоя Западного Забайкалья- Тологой (прибрежно-озёрные красноцветные отложения на продуктах выветривания гранитоидов; середина–конец плиоцена) и Удунга (красноцветные глинистые толщи долинно-делювиальной обстановки; начало–конец плиоцена).

Методы: ИК-спектроскопия ГК (ATR, $4000-400\text{ см}^{-1}$) с единой базисной коррекцией и нормализацией; минералогический анализ глинистой фракции ($<2\text{ мкм}$) по XRD (Mg/EG/350/550/K/Li-тесты на ДРОН-3); гранулометрический состав определен пипет-методом; определение физико-химических свойств: рН методом потенциометрии, CaCO_3 ацидометрически, групповой состава гумуса методом Пономаревой-Плотниковой.

Для интерпретации использованы показатели: ароматичность/алифатичность, относительный вклад зоны Si–O, наличие/отсутствие карбонильной полосы. Для отдельных образцов разреза Удунги методом C^{13} ЯМР выполнена полуколичественная оценка содержания алкильного и ароматического углерода.

Результаты.

В разновозрастных образцах гуминовые кислоты погребенных почв разрезов Удунги и Тологой обладают разными ИК-подписями. В разрезе Удунга более выражены алифатические полосы $2920-2850\text{ см}^{-1}$; часто отмечается плечо $\sim 2955\text{ см}^{-1}$; усилена «минеральная» зона $1000-1100\text{ см}^{-1}$ (Si–O); ОН-максимум шире ($3200-3400\text{ см}^{-1}$). В гуминовых кислотах плиоценовых почв разреза Тологой отмечается усиление ароматической области $\sim 1580-1590\text{ см}^{-1}$, площади пиков, отвечающих за минеральный вклад и ОН-группы выражены меньше.

При рассмотрении особенностей минералогического состава образцов в разрезе Удунга отмечены устойчивые признаки смектита низкого заряда (бейделлит) по ЕГ-расширению до $\sim 17 \text{ \AA}$ и ИК $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ ($\sim 1630 \text{ см}^{-1}$), пики иллита и каолинита имеют подчинённое значение. В разрезе Тологой в нижележащих горизонтах доминирует смектит, выше доминирует иллит со смешанослойной I/S фазой и следами хлорита, а также каолинит, который фиксируется по $7.15 \text{ \AA}$ (исчезает при 550°C) и ОН-мультиплету $3695/3669/3652/3620 \text{ см}^{-1}$.

Обнаружена корреляция характеристик минералогического состава и строения ГК. Смектит-гидрослюдистая матрица соответствует повышенному вкладу ГК, связанных с минеральной частью и обладающих большей алифатической частью ($\text{Si}-\text{O}$ $1000-1100 \text{ см}^{-1}$, нормированному на ОН). Матрица иллит-каолинит с оксидами железа коррелирует с относительным ростом площадей соответствующих ароматической части молекул ($\sim 1600 \text{ см}^{-1}$).

Выводы

В одном возрастном диапазоне инфракрасные спектры гуминовых кислот плиоценовых палеопочв разреза Удунга демонстрируют относительно более выраженные полосы алифатической части и «минеральную» зону $\text{Si}-\text{O}$, тогда как в разрезе Тологой отмечена большая ароматичность молекул. Различия в строении ГК согласуются с ИК/XRD-характеристиками глинистой фракции. Молекулы с более выраженной алифатической частью приурочены к почвам со смектит-гидрослюдистой минеральной матрицей, накопление высокоароматичных молекул гуминовых кислот соответствует матрице иллит-каолинит с оксидами железа

Сохранение различий ИК-подписей ГК между стратотипическими разрезами плиоцена Западного Забайкалья при парном контроле минералогии указывает, что литология (тип глинистой матрицы, роль оксидов Fe) является первичным фактором изменения спектральных признаков гуминовых кислот, тогда как климато-временные эффекты выступают вторичными модификаторами амплитуды сигналов.

УДК 631.4

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ ПРИРОДНО-АРХИТЕКТУРНОГО ЛАНДШАФТА ДОЛИНЫ РЕКИ ИСТРА («РУССКАЯ ПАЛЕСТИНА», МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Вертянкина В. Ю.¹, Колесникова В. М.²

¹ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля», г. Москва, victoria_vert@mail.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, kolesnikovavm@my.msu.ru

Изучению особенностей формирования аллювиальных почв уделялось значительное внимание исследователей, начиная с середины XIX века. Большой вклад в развитие знаний о генезисе и эволюции аллювиальных почв внес Г. В. Добровольский. В 1954 году была организована «пойменная» экспедиция, в ходе которой были проведены комплексные исследования и описаны основные характеристики пойменных почв Центральной России. Результатом проведённых исследований процессов пойменного почвообразования стала разработанная Г. В. Добровольским эколого-генетическая классификация аллювиальных почв, раскрывающая их генезис и зональные особенности. В октябре 2009 года Г. В. Добровольский принял участие в конференции Московского общества естествоиспытателей природы (МОИП), посвященной 200 – летию первой экспедиции Общества по изучению природы Подмоскovie. Конференция проходила на территории Воскресенского Новоиерусалимского монастыря (г. Истра, Московская область). Позже по инициативе Г. В. Добровольского были начаты исследования почв долины реки Истры в окрестностях Новоиерусалимского монастыря.

Почвенные исследования проводились в ходе шести экспедиций кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова в период с 2012 по 2020 год.

Первоначальный замысел Нового Иерусалима заключался в пространственном воссоздании главных палестинских святынь через топографию, топонимику и архитектуру.

В состав природно-архитектурного ландшафта «Русской Палестины» входят Воскресенский Ново-Иерусалимский ставропигиальный мужской монастырь, примыкающая к его стенам часть долины р. Истра с парковой зоной на левом берегу реки, которая включает «Гефсиманский сад», пейзажные части парка, соединенные дорожно-тропиночной сетью и ведущие к архитектурным объектам – «Изба Кокориных», «Мельница» и скит Никона.

В ходе наших исследований была заложена серия разрезов, покрывающих участки долины реки Истры, в различных структурно – функциональных зонах природно – архитектурного комплекса: на второй надпойменной террасе были исследованы участки рекреационной зоны в пределах стен Новоиеерусалимского монастыря. На первой надпойменной террасе, за пределами монастырских стен, в пределах регулярной части парка, были заложены разрезы в зоне современных посадок, носящих историческое название «Гефсиманский сад». Дополнительные ключевые участки исследований включали территорию у музея деревянного зодчества «Изба Кокориных», а также элементы дорожно-тропиночной сети, ведущей к экспонатам парковой зоны. На останце первой надпойменной террасы расположен участок старовозрастного лесного массива. Согласно историческим картам, именно на этом месте изначально находился Гефсиманский сад. На территории центральной поймы выбраны следующие ключевые участки: лесные массивы на высокой и низкой пойме, газон в регулярной части парка около комплекса «Мельница», «Стрелецкое поле» — место битвы 1689 года при подавлении Стрелецкого бунта (ныне используемое для исторических реконструкций), а также бывшие сельхозугодья за Бужаровским шоссе. В таблице 1 систематизированы основные типы почв исследуемой территории с разбивкой по структурно-функциональным зонам комплекса, приуроченные к различным элементам долины реки Истры.

Таблица 1.

Элемент долины реки Истры	Структурно-функциональная зона природно-архитектурного комплекса	Номер разреза	Почва
Вторая надпойменная терраса	Рекреационная зона внутри монастырских стен	Разрез 3	Дерново-карбонатная урбистратифицированная Urbic Technosol (Calcic, Humic, Loamic)
Первая надпойменная терраса	Регулярная часть парка Современные посадки (Гефсиманский сад)	Разрез 33	Дерново – подзолистая типичная урбистратифицированная глубоко карбонатная Calcaric Retisol (Arenic, Humic)
	Регулярная часть парка (Гефсиманский сад)	Разрез 5	Аллювиальная серогумусовая типичная Fluvisol (Loamic, Calcaric)
	Газон у музея деревянного зодчества «Изба Кокориных»	Разрез 36	Аллювиальная серогумусовая глеевая Gleyic Fluvisol (Loamic, Orchric)
	Участок дорожно – тропинойной сети к	Разрез 42	Литострат на техногенных отложениях

	экспонатам парковой зоны		Urbic Technosol
Останец первой надпойменной террасы	Старовозрастной лесной массив	Разрез 21	Дерново – подбур иллювиально железистый Podzol (Umbric, Arenic)
		Разрез 31	Дерново – подзол иллювиально – железистый Podzol (Entic, Umbric, Arenic)
Притеррасное понижение	Пейзажная часть парка	Разрез 24	Аллювиальная серогумусовая глеевая Gleyic Fluvisol (Siltic, Orchric)
Высокая часть центральной поймы	Лесной участок	Разрез 18	Аллювиальная серогумусовая глееватая с погребенным горизонтом ThaptoGleyic Fluvisol (Loamic, Humic)
Центральная пойма	Газон регулярной части парка у архитектурного комплекса «Мельница»	Разрез 20	Аллювиальная серогумусовая глееватая на аллювиальных отложениях Gleyic Fluvisol (Aric, Siltic)
Центральная пойма (участок за Бужаровским шоссе)	Бывшие сельскохозяйственные угодья	Разрез 27	Агрогумусовая среднесуглинистая аллювиальная почва Anthrosols (Loamic, Panpaic)
		Разрез 28	Аллювиальная серогумусовая глеевая супесчаная на аллювиальных отложениях Fluvisols (Loamic, Humic, Gleyic)
Центральная пойма	«Стрелецкое поле» Зона проведения исторических реконструкций	Разрез 44	Аллювиальная серогумусовая типичная Fluvisol (Arenic, Orchic)
Низкая часть центральной поймы	Пейзажная часть парка Лесной участок	Разрез 9	Аллювиальная серогумусовая типичная Fluvisol (Arenic, Orchic)
Прирусовая часть поймы	Пейзажная часть парка Луговой участок	Разрез 22	Аллювиальная серогумусовая типичная Fluvisol (Arenic, Humic)

В результате многочисленных преобразований территории внутри стен Новоиерусалимского монастыря был полностью уничтожен естественный почвенный покров, на толще техногенных отложений сформировались антропогенно-преобразованные почвы – дерново – карбонатные урбистратифицированные (разрез 3). Для почв второй надпойменной террасы характерна слабощелочная реакция среды, небольшое содержание гумуса (от 3 до 5 % в верхней части профиля до 0,2 % в нижней), легкий гранулометрический состав. Подробное описание характерных особенностей почв второй надпойменной террасы, их морфологические и аналитические свойства приведены в более ранних публикациях авторов.

На территории регулярной части парка, расположенного на первой надпойменной террасе, под современными посадками деревьев описаны дерново – подзолистая урбистратифицированная глубоко карбонатная (разрез 33) и аллювиальная серогумусовая типичная (разрез 5) почвы, подстилаемые карбонатной мореной. Профиль дерново -

подзолистой почвы характеризуется кислыми значениями актуальной кислотности, небольшим содержанием гумуса (от $3,90 \pm 1,60$ % в верхних горизонтах до $0,43 \pm 0,50$ % в нижней части профиля). Сумма обменных оснований для дерново – подзолистых почв достигает максимальных значений в верхних горизонтах и составляет $15,54 \pm 8,54$ мг (экв)/100 г, снижаясь до $3,12$ – $13,13$ мг (экв)/100 г в подзолистом горизонте. Почвы обогащены подвижными формами фосфора и калия. Содержание фосфора находится в пределах $16,69 \pm 6,8$ мг/100 г почвы в верхнем серогумусовом горизонте и достигает минимального значения в подзолистом горизонте – $2,54$ – $17,40$ мг/100 г почвы. Почвы содержат небольшое количество подвижных форм калия, максимальное значение приходится на текстурный горизонт – $11,10$ мг/100 г почвы, а минимальное значение характерно для подзолистого горизонта – $2,02$ – $2,71$ мг/100 г почвы. На участке, покрытом газоном, у музея деревянного зодчества «Изда Кокориных» формируется аллювиальная серогумусовая глеевая почва (разрез 36).

На участке дорожно-тропичной сети был вскрыт профиль литострата на техногенных отложениях (разрез 42). Профиль представляет собой толщ чередующихся техногенных отложений, супесчаного гранулометрического состава, различающихся между собой по плотности и наличию антропогенных включений. Почва характеризуется близкими к нейтральным значениями актуальной кислотности, небольшим содержанием гумуса (от 1,4% в верхней части профиля до 0,2 % в нижней). Сумма обменных кальция и магния находится в пределах от 9,9 до 11,9 мг (экв)/100 г почвы в верхней части профиля до 2,6 мг (экв)/100 г почвы в нижней части профиля.

Под старовозрастным лесным массивом на останце первой надпойменной террасы были описаны дерново-подбур иллювиально-железистый (разрез 21) и дерново-подзол иллювиально-железистый (разрез 31). Выявлены следующие свойства почв: кислая реакция среды по всему профилю; содержание гумуса в верхних горизонтах составляет 1,4–4,5 %, с резким уменьшением вниз по профилю до 0,6–1,0 %; сумма обменных оснований в верхней части профиля достигает 9,7 мг-экв/100 г почвы, с выраженным снижением в иллювиальных горизонтах до 1,7 мг-экв/100 г почвы. В притеррасном понижении пейзажной части парка формируется аллювиальная серогумусовая глеевая почв (разрез 24).

На высокой части центральной поймы описана аллювиальная серогумусовая глееватая почва с погребенным горизонтом (разрез 18). Профиль почвы представлен стенкой археологического раскопа. Согласно проведенным археологическим исследованиям, погребенный горизонт указывает на бывшее расположение русла реки Истры. В низкой части поймы на участке с лесной растительностью был вскрыт профиль аллювиальной серогумусовой типичной почвы (разрез 9). На территории регулярной части парка у архитектурного комплекса «Мельница» на газоне была вскрыта аллювиальная серогумусовая глееватая почва на аллювиальных отложениях (разрез 20). Почвы центральной поймы можно отнести к посталлювиальным, так как в результате строительства Истринского водохранилища в 1935 году пойма реки перестала затопливаться. Для почв характерна слабокислая реакция среды. Содержание гумуса находится в пределах от $3,2 \pm 0,93$ % в дернине и резко сокращается при движении вниз по профилю до $0,12 \pm 0,02$ %. Сумма обменных оснований достигает своего максимума в верхнем горизонте $15,32 \pm 5,18$ мг (экв)/100 г почвы и снижается до $1,04 \pm 6,01$ мг (экв)/100 г почвы в нижней. Содержание подвижных форм фосфора находится в пределах от $31,71 \pm 21,12$ мг/100 г почвы в верхнем серогумусовом горизонте и 1,66 мг/100 г почвы в нижней части профиля. Содержание подвижных форм калия изменяется в пределах от $4,43 \pm 2,97$ мг/100 г почвы в верхнем горизонте до 0,54 мг/100 г почвы в нижнем горизонте.

За Бужаровским шоссе на месте бывших монастырских сельскохозяйственных угодий формируется агрогумусовая серднесуглинистая аллювиальная почва (разрез 27) и аллювиальная серогумусовая глеевая почва на аллювиальных отложениях (разрез 28). На участке центральной поймы «Стрелецкое поле» (разрез 44) и в прирусловой части были описаны аллювиальные серогумусовые типичные почвы (разрез 22).

Для них характерна слабокислая реакция среды, содержание гумуса в верхних горизонтах достигает $4,31 \pm 3,01\%$ и сокращается в нижней части профиля до $0,45 \pm 0,32\%$. Сумма обменных оснований в верхних горизонтах составляет $16,97 \pm 5,18$ мг (экв)/100 г почвы и снижается до $1,58$ мг (экв)/100 г почвы в нижней. Содержание подвижных форм фосфора изменяется в пределах от $18,98 \pm 13,88$ мг/100 г почвы в верхнем серогумусовом горизонте и $17,81$ мг/100 г почвы в нижней части профиля. Содержание подвижных форм калия - в пределах от $7,00 \pm 4,55$ мг/100 г почвы в верхнем горизонте до $0,83$ мг/100 г почвы в нижнем горизонте.

УДК 631.10

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ – СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП ДОКУЧАЕВСКОЙ ПАРАДИГМЫ – В ПРЕПОДАВАНИИ ПОЧВОВЕДЕНИЯ НА ГЕОГРАФИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ ФИЛИАЛОВ МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА В АСТАНЕ (КАЗАХСТАН) И МГУ-ППИ В ШЭНЬЧЖЕНЕ (КНР), А ТАКЖЕ В РУДН

Д.Л. Голованов^{1, 2, 3} dm_golovanov@mail.ru, В.Ю. Березкин^{4, 5}, М.Ф. Дорохова², А.В.Шарапова^{2, 3}

¹ Географический факультет МГУ-ППИ, Шэньчжень (КНР)

² Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ Казахстанский филиал МГУ им. М.В. Ломоносова, Астана

⁴ РУДН, Москва, Россия, ⁵ ГЕОХИ РАН, Москва, Россия

Настоящее сообщение базируется на опыте преподавания курсов «Почвоведение и географии почв» в филиале Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова в Астане (Республика Казахстан), а также «Экологического почвоведения» в РУДН (Российском университете дружбы народов) и в магистратуре Географического факультета в филиале МГУ-ППИ (Пекинского политехнического института) в Шэньчжене. Также использован опыт преподавания «Крупномасштабной почвенной картографии» и «Эволюции и динамики почв» (совместно с профессором А.Н. Геннадиевым) на географическом факультете МГУ.

Создание и развитие В.В. Докучаевым представлений о почве, как о профильно-организованном теле и результате взаимодействия факторов почвообразования стало в конце XIX века подлинной научной революцией («сменой парадигм» по Т.С. Куну, 1975) не только в аграрных науках, но и послужило позднее фундаментом ландшафтного направления в географии, экологического – в биологии, биогеохимического – в геологии. Итогом первого этапа развития отечественного почвоведения явилась «Классификация и диагностика почв СССР» 1977 года, создание Государственной почвенной карты (ГПК), крупномасштабных почвенных карт хозяйств сельскохозяйственной территории СССР. Позднее потребовалось более строгое разделение задач географии и классификации почв, основанной на их субстантивных свойствах и обусловленных почвообразовательными процессами, что было осуществлено сначала И.П. Герасимовым (1973) и М.А. Глазовской (1966, 1972), Б.Г. Розановым (1975), В.М. Фридландом (1982), а затем и в Новой классификации почв России (1997, 2004, 2008), а также в классификациях FAO (1974-1998) и WRB (2015).

Изучение почвообразовательных процессов на стационарах позволило провести их более подробную детализацию, разработать представление об иерархической системе почвообразовательных процессов (А.А. Роде, 1972). При этом каждому иерархическому

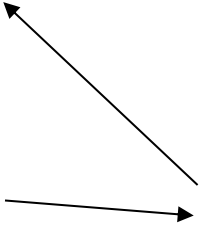
уровню, согласно А.А. Роде, соответствуют свои основные методы исследования: сравнительно-географический для почвенного покрова, сравнительно-аналитический для почвенного профиля и горизонтов, стационарный и метод моделирования для понимания механизмов этих процессов.

Однако, каждому этапу развития почвоведения, модификации докучаевской парадигмы, свойственны свои характерные методы моделирования (Табл. 1). Так, для первого этапа и доминирования сравнительно-географического метода характерны корреляционные модели. Сравнительно-аналитическому методу присущи функциональная зависимость, в первом приближении – прямолинейная, в дальнейшем более сложная.

Для стационарного подхода основным методом моделирования является балансовый подход и описывающая его система линейных дифференциальных уравнений.

Современному этапу развития почвоведения соответствует представление об экологических функциях почв и почвенного покрова (Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 1983, 2001). Такому пониманию наиболее адекватен метод моделирования взаимовлияния почв и условий их формирования с использованием систем нелинейных дифференциальных уравнений (Смагин, 2005). Именно такие модели позволяют предсказывать несколько устойчивых состояний, в частности, биокруговорота в системе почвы-растения, оценивать устойчивость почв и почвенного покрова к глобальным изменениям и антропогенным воздействиям.

Таблица 1. Авторы, содержание и девиз, метод и характер модели для различных этапов развития Докучаевской парадигмы почвоведения

Автор, Год	Девиз парадигмы, ее содержание			Метод / Характер модели
В.В. Докучаев, 1883	Факторы ↓ Свойства		Тип почвы Профиль	Сравнительно- географический / Корреляционная модель
М.А. Глазовская, 1966 И.П. Герасимов 1973 Б.Г. Розанов, 1975	Факторы ↓ Процессы ↓ Свойства	ЭПП* (SPP)**	Тип почвы Горизонт Профиль	Сравнительно- Аналитический / Функциональная модель: L, R, Kx, Kb коэффициенты. Хронокатены
А.А. Роде, 1947, 1971	Факторы ↓ Режимы ↓ Процессы ↓ Свойства	ПМикроП*** ЧПМП**** ОПМП*****	Тип почвы Горизонт Профиль	Стационарный / Балансовая модель, системы линейных дифференциальных уравнений
Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 1990	Факторы ↓ Режимы ↓ Процессы ↓ Свойства		Тип почвы Горизонт Профиль Экологические функции	Моделирование, оценка параметров модели / системы нелинейных дифференциальных уравнений

* ЭПП – элементарный почвообразовательный процесс; ** SPP – specific pedogenic properties

*** ПМикроП – Почвообразовательный микропроцесс

**** ЧПМП – Частный почвообразовательный макропроцесс ~ ЭПП

***** ОПМП – Общий почвообразовательный макропроцесс

Таблица позволяет в сжатом виде проследить эволюцию Докучаевской парадигмы в XX веке:

Закон Докучаева: Почва – функция пяти факторов почвообразования (Факторы – Свойства)

Неодокучаевская «триада» И.П. Герасимова: Факторы – Процессы – Свойства.

«Тетрада» В.О. Таргульяна – А.А. Роде: Факторы – Режимы – Процессы – Свойства.

«Кольцо» В.В. Докучаева – В.Б. Сукачева – Г.В. Добровольского:

Факторы – Режимы – Процессы – Экологические функции – Факторы

На первом курсе бакалавриата для общегеографического образования акцент делается на тесной взаимосвязи почв и условий их формирования, когда за ярким почвенным образом открывается ландшафт: степи за черноземами, влажные субтропики – за красными и т.д. Эта же парадигма в интерпретации Г. Йенни и А. Мак-Братни – модель SCORPAN закрепляется в курсе крупномасштабной почвенной картографии на втором курсе кафедры геохимии ландшафтов и географии почв. При преподавании диагностики почв (М.А. Смирнова) на втором курсе анализ почвенного профиля базируется на концепции ЭПП. Режимные характеристики почв, механизмы ЭПП анализируются в курсе «Эволюция и динамика почв» на третьем курсе. Здесь же реализуется сравнительно-хронологический метод, как вариант сравнительно-географического. Начинается анализ экологических функций почв и почвенного покрова.

На концепции экологических функций почв и почвенного покрова базируется преподавание «Экологического почвоведения» в РУДН и одноименного курса в рамках магистерской программы по геоэкологии Географического факультета филиала МГУ-ППИ (Пекинского политехнического института) в Шэньчжэне.

В наибольшей степени современной парадигме почвоведения, далеко выходящей за границы традиционного изучения почвенного профиля, как и предвидел В.В. Докучаев, соответствует преподаваемый на кафедре геохимии ландшафтов и географии почв Географического факультета МГУ курс биогеохимии (М.Ф. Дорохова, Ю.И. Пиковский), развивающей наследие ученика В.В. Докучаева – В.И. Вернадского. Курс изначально базируется на методологии понимания геохимических функций микроорганизмов М.А. Глазовской и Н.Г. Добровольской, а также включает в себя элементы медицинской геохимии Ю.Е. Саева – В.В. Ковальского.

УДК 631.46-576.8

РАЗНООБРАЗИЕ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЭУТРОФНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Головченко А.В.¹, Грачева Т.А.¹, Семенова Т.А.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail golovchenko.alla@gmail.com;

²Институт проблем эволюции и экологии имени А.Н. Северцова РАН, Москва, e-mail tashino@mail.ru

Благодаря уникальным свойствам и наличию торфяной залежи, торфяники играют важную (нередко ключевую) роль в поддержании природных процессов на местном, региональном и глобальном уровнях, в регулировании круговорота воды, углерода и других природных компонентов. Торфяники представляют широкий спектр местообитаний, способствующих сохранению биоразнообразия, в том числе и микробного разнообразия. Микробные сообщества являются основными движущими силами преобразования органического вещества, поэтому оценка вклада различных групп микроорганизмов в этот процесс не теряет своей актуальности. Инвентаризация культивируемых микроорганизмов болотных экосистем необходима также для определения “адресных данных” того или иного таксона, представляющего интерес в качестве продуцентов биологически активных веществ. Цель работы – охарактеризовать микробное разнообразие в низинных торфяниках, особое внимание при этом уделив

сравнительному анализу его деятельного и инертного слоёв.

Исследовали полные профили низинных торфяников Тверской и Томской областей с мощностью торфяной залежи не менее 3 м. Торфяники были классифицированы как эутрофные торфяные мощные почвы, по WRB – Sapric Histosols. Все микробиологические показатели рассматривали с учетом деления торфяного профиля на деятельный и инертный слои. Считается, что в деятельном слое наиболее интенсивно осуществляются процессы газо-, водо- и теплообмена, активно функционируют аэробные микроорганизмы, происходит деструкция органических остатков и формирование торфа. В инертном слое преобладают анаэробные условия, которые ограничивают доступ кислорода, необходимого для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов (грибов и актиномицетов), отвечающих за более эффективное разложение органики. Граница между деятельным и инертным слоем совпадает с максимальным уровнем залегания болотных вод во время летнего высыхания. Для исследуемых почв этот уровень варьирует от 45 до 63 см. Соответственно за деятельный слой условно принимали верхний слой, мощностью 50 см. Мощность инертного слоя составила 250 см. Деятельный слой в исследуемых почвах соответствует эутрофному-торфяному горизонту (TE), инертный – торфяной толще (TT).

Для торфяников, весь профиль которых имеет органогенную природу, особое значение приобретает изучение сапротрофного комплекса микроорганизмов, который участвует в конвеерной переработке растительных остатков. Таксономический состав этого микробного комплекса определяли чашечным методом. Использовали агаризованные среды: Чапека (для микромицетов); глюкозо-пептонно-дрожжевую среду (для бактерий); Гаузе 1 (для актиномицетов). Идентификацию микроорганизмов осуществляли на основании фенотипических признаков по ключам определителей. Для уточнения таксономического положения изолятов использовали молекулярно-биологические методы. Для описания структуры микробных комплексов использовали индексы биоразнообразия: частоту встречаемости таксона (ЧВ), частоту доминирования таксона (ЧД), индекс видового разнообразия (индекс Шеннона), коэффициент видового сходства (коэффициент Сёренсена –Ks).

Культивируемые грибы в исследуемых почвах были представлены 52 видами из 32 родов, из которых с высокой частотой встречаемости выявляли представителей родов *Mortierella*, *Cladosporium*, *Penicillium* и *Trichoderma*. В деятельном слое ЧВ микромицетов этих родов была выше (40–58%), чем в инертном (22–39%). Индекс Шеннона варьировал в деятельном слое торфяников от 2 до 2,5, в инертном слое – от 0,8 до 2,3. В деятельном слое преобладали виды микромицетов, входящие по частоте встречаемости в группы частых ($30 < \text{ЧВ} < 60\%$) и редких ($10 < \text{ЧВ} < 30\%$), в инертном слое происходило смещение в сторону группы случайных видов ($\text{ЧВ} < 10\%$). Общими для исследуемых почв были только 3 вида: *Podila verticillata*, *Penicillium aurantiogriseum*, *Trichoderma polysporum*. В деятельном слое в группу доминирующих ($\text{ЧВ} > 60\%$) видов входили *Acremonium charticola*, *Cladosporium cladosporioides*, *Mammaria echinobotryoides*, *Keithomyces carneus*, *Penicillium aurantiogriseum*, *Trichoderma koningii*. В эутрофных торфяных почвах таксономическое сходство микромицетных комплексов было умеренным или средним ($0,55 < K_s < 0,65$). Наибольшим видовым богатством характеризовалась почва под черноольховым лесом. В целом, для исследуемых почв отмечали низкую численность культивируемых микромицетов при достаточно высоком таксономическом разнообразии. Анализируя таксономический состав культивируемых микромицетов исследуемых почв по частоте встречаемости видов и их обилию, можно выделить группу микромицетов с относительно высокими показателями, в первую очередь в деятельном слое, и в меньшей степени, в инертном слое. Этот факт косвенно свидетельствует о том, что лишь некоторые виды могут развиваться в инертном слое, где большинство из них находится в неактивном состоянии (в виде спор).

Культивируемые бактерии, выделенные из исследуемых почв, были отнесены к 10

таксонам: *Pseudomonas*, *Dyadobacter*, *Janthinobacterium*, *Pedobacter*, *Flavobacterium*, миксобактерии (бактерии пор. *Mycobacteriales*), *Bacillus*, *Streptomyces*, *Arthrobacter* и *Microbacterium*. Эти таксоны выявляли по всему профилю (кроме бацилл, которые обнаруживали только в деятельном слое). В деятельном слое в группу доминирующих по ЧВ (>60%) таксонов входили бациллы, стрептомицеты, миксобактерии и представители родов *Arthrobacter* и *Pseudomonas*. Бактерии родов *Flavobacterium*, *Arthrobacter* и *Microbacterium* встречались часто, а бактерии родов *Janthinobacterium* и *Pedobacter* – редко. В инертном слое большинство выявляемых таксонов характеризовалось высокой ЧВ (65<ЧВ<100%), в группу часто встречающихся входили только стрептомицеты, редко встречающихся – миксобактерии. В деятельном слое, где активно протекают процессы деструкции растительных остатков, доминировали представители родов *Bacillus* и *Streptomyces* (ЧД=100 и 30% соответственно), в остальной части профиля – неспоровые бактерии родов *Pseudomonas*, *Dyadobacter* и *Arthrobacter* (ЧД=100, 30 и 20% соответственно). Представители тех таксонов, которые трудно определить по фенотипическим признакам, были идентифицированы до рода и вида на основании анализа нуклеотидных последовательностей генов 16S рНК. Бактериальные культуры были отнесены к 7 родам и 11 видам, которые принадлежат филумам *Pseudomonadota*, *Bacteroidota* и *Actinomycetota*. Филум *Pseudomonadota* был представлен видами *Pseudomonas mandelii*, *P. chlororaphis*, *Janthinobacterium svalbardensis*, *J. lividum*, филум *Bacteroidota* – *Dyadobacter hamitensis*, *Flavobacterium araucanum*, *F. luteum*, *Pedobacter soli*, филум *Actinomycetota* – *Arthrobacter humicola*, *Microbacterium foliorum* и *M. phyllosphaerae*.

Культивируемые актиномицеты из исследуемых почв были представлены 4 родами: *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium* и *Streptoverticillium*. Доминировали по ЧВ представители рода *Streptomyces* (85–100%), ЧВ других родов не превышала 15%. Стрептомицеты были отнесены к 14 видам из 7 серий и 4 секций: *S. graminofaciens*, *S. albochromogenes*, *S. carpaticus*, *S. xanthocidicus*, *S. noboritoensis*, *S. wedmorensis*, *S. ramulosus*, *S. viridobrunneus*, *S. viridogenes*, *S. globisporus*, *S. felleus*, *S. cremeus*, *S. baarnensis*, *S. lavendulae*, микромоноспоров – к 3 видам: *M. melanospora*, *M. aurantiaca* и *M. parva*. Проверка представителей родов *Streptomyces* и *Micromonospora* на способность к микроаэрофильному росту выявила её наличие у 70% тестируемых культур, что свидетельствует об адаптации некоторых видов актиномицетов к дефициту кислорода, существующему в профиле торфяных почв. Максимальным ростом в микроаэрофильных условиях характеризовались *Streptomyces viridogenes*, *S. baarnensis*, *S. noboritoensis*, *S. albochromogenes*, *S. cremeus* и *Micromonospora aurantiaca*. Представляется значимым, что стрептомицеты не подавляли развитие большинства бактерий, выделенных из исследуемых почв. Они проявляли антагонизм только к спорообразующим бактериям, что может быть одной из причин низкой численности и неглубокого проникновения бацилл в толщу торфяников.

Особенностью эутрофных торфяных почв является то, что микробная трансформация органического детрита активно происходит в верхних горизонтах этих почв и дальнейшей консервации подвергается уже хорошо разложившийся торф. Ведущая роль в этом процессе принадлежит мицелиальным организмам – грибам и актиномицетам. В связи с этим было проведено дополнительное исследование таксономического состава грибных и актиномицетных комплексов эутрофных торфяных почв в зоне основной деструкции органического детрита, представленной подстилкой (слоями L и F) и эутрофно-торфяным горизонтом (TE).

Анализ таксономического состава микромицетных комплексов показал, что зона основной деструкции органического детрита исследуемых почв характеризовалась высоким видовым разнообразием – 70 видов культивируемых грибов из 43 родов, включая две формы стерильного мицелия. Отдел Ascomycota был представлен 35 родами, Mucoromycota – 7 родами (*Absidia*, *Cunninghamella*, *Linnemannia*, *Mucor*, *Mortierella*,

Syncephalastrum, *Umbelopsis*), Basidiomycota – одним родом. По числу видов преобладали род *Penicillium* (10 видов), *Talaromyces* (5 видов), *Trichoderma* (9 видов), остальные были представлены одним, редко двумя видами. Видовые списки микромицетов, выделенных из подстилок и эутрофно-торфяного горизонта исследуемых почв, насчитывали по 53 представителей, из которых 36 видов были общими. Видовое сходство микромицетов анализируемых горизонтов характеризовалось как среднее ($K_s=0,68$). В зоне деструкции органического детрита исследуемых почв индекс Шеннона нарастал от 1.2 до 2.6 в ряду $L < F < TE$. Представители доминирующих родов (*Penicillium*, *Talaromyces*, *Trichoderma*) встречались, как в подстилках, так и в горизонте TE. Отличия проявлялись на уровне видов и их частоты встречаемости. В подстилках доминирующим видом был *Penicillium aurantiogriseum*, частота встречаемости которого составляла 73%. Часто встречались виды *Penicillium thomii*, *Sarocladium strictum* и *Akanthomyces lecanii*. Однако подавляющее большинство видов, изолированных как из подстилки, так и из горизонта TE, были отнесены (по ЧВ) к редким и случайным. Сравнение слоев подстилки (L и F) между собой выявило наибольшее видовое разнообразие микромицетов в ферментативном слое. В каждой почве оно достигалось за счет представителей разных родов. Так, в слое F подстилки соснового леса активно развивались быстрорастущие грибы из родов *Cylindrocarpon*, *Mortierella*, *Mucor*, а в слое F подстилки черноольхового леса – рода *Trichoderma*. В подстилках, в отличие от эутрофно-торфяного горизонта, обильно развивались муконовые грибы (*Absidia cylindrospora*, *Mucor hiemalis*, *Syncephalastrum* sp.), а также факультативные фитопатогенные грибы (*Alternaria alternata*, *Paraphoma fimeti*, *Fusarium poae*, *F. oxysporum*). Из литературы известно, что муконовые грибы являются сапротрофами-сахаролитиками. Они используют легкодоступные сахара и повсеместно встречаются в слаборазложившихся органических субстратах, каковыми являются подстилки. Они стоят в начале сукцессионной цепочки микроорганизмов-деструкторов растительного опада. Факультативные фитопатогенные грибы обитают на растениях как эпифиты или фитопатогены, а при попадании в почву с опадом переходят на сапротрофный тип питания, участвуя в деструкции растительного детрита. Культуры грибов, выделенные из зоны основной деструкции органического детрита исследуемых почв, обладали целлюлозолитической, амилалитической и хитинолитической активностью (34, 68, 61% проверенных изолятов). Способностью к быстрой колонизации и активному синтезу ферментов класса целлюлаз характеризовались представители родов *Trichoderma* (*T. atroviride*, *T. viride*, *T. koningii* и *T. polysporum*); *Fusarium* (*F. sporotrichioides* и *F. avenaceum*) и *Penicillium* (*P. brasilianum* и *P. daleae*). Наиболее активные деструкторы крахмала – представители рода *Trichoderma* (*T. polysporum*, *T. viride*, *T. virens*, *T. harzianum*, *T. atroviride* и *T. hamatum*), хитина – все тестируемые представители рода *Trichoderma*. Представители рода *Trichoderma*: *T. atroviride*, *T. viride* и *T. harzianum* характеризовались полифункциональностью и активно разрушали все три субстрата (крахмал, целлюлозу, хитин). Изолят *T. koningii* активно разлагал хитин и целлюлозу, но в меньшей степени крахмал. Штамм *T. polysporum* был высоко активен в отношении крахмала и хитина, но хуже разлагал целлюлозу. Кроме представителей рода *Trichoderma*, высокую активность в разложении полимеров проявляли некоторые представители рода *Penicillium* (*P. daleae*, *P. glabrum* и *P. thomii*.), а также виды *Fusarium avenaceum* (все субстраты), *Aureobasidium pullulans*, *Phoma* sp. (хитин и крахмал). Наиболее активные деструкторы биополимеров были изолированы преимущественно из образцов подстилок исследуемых почв. Актиномицеты, выделенные из зоны основной деструкции органического детрита исследуемых почв, принадлежали к родам *Streptomyces* и *Micromonospora*. Представители доминирующего рода *Streptomyces* были отнесены к 42 видам из 12 серий и 4 секций. Были составлены видовые списки стрептомицетов, выделенных из подстилок и эутрофно-торфяного горизонта исследуемых почв. Спектр из подстилок был представлен 22 видами, из эутрофно-торфяного горизонта – 20 видами. Общими для анализируемых горизонтов

были только 4 вида: *S. filamentosus*, *S. globosus*, *S. griseloalbus* и *S. sindenensis*. Таким образом, подавляющее большинство видов, типичных для подстилок не были отмечены в эутрофно-торфяном горизонте исследуемых почв, т.е. видовое сходство было низким ($K_s=0,19$). В подстилках наиболее часто встречались виды *S. griseloalbus* (ЧВ=50%) и *S. zaomyceticus* (ЧВ =38%). Большинство видов попадало в группу редких и случайных (ЧВ<30%). Аналогичную картину наблюдали в горизонте ТЕ, в котором ЧВ выявляемых видов не превышала 25%. Целлюлозолитическая активность была выявлена у 82% изолятов, хитинолитическая – у 26%. Культуры стрептомицетов с высокой гидролитической активностью – *S. bikiniensis*, *S. varsoviensis*, *S. alboflavus*. Проверка антагонистической активности стрептомицетов в отношении как условно-патогенных микроорганизмов, так и грибных и бактериальных культур, выделенных из этих же почв, выявила культуры (*S. globisporus*, *S. sindenensis*, *S. xantochromogenes*), обладающие высоким антимикробным потенциалом.

Таким образом, подстилки не уступают эутрофно-торфяному горизонту (по болотной терминологии соответствующему деятельному слою) по видовому разнообразию грибов и актиномицетов, что делает их значимым компонентом болотно-лесных экосистем эутрофного типа, кроме того они являются перспективными природными локусами для выделения функционально активных культур грибов и актиномицетов.

Анализ микробного разнообразия в исследуемых почвах показал, что в деятельном слое преобладают грибы и бактерии родов *Bacillus* и *Streptomyces* (относительные К-стратегии со сложным жизненным циклом – споры и вегетативные клетки или мицелий соответственно), которые активно осуществляют процессы деструкции растительных остатков. В инертном слое более благоприятные условия складываются для развития г-стратегов. В пользу этого предположения свидетельствуют данные по таксономическому составу бактериальных комплексов (доминируют банальные неспоровые бактерии родов *Pseudomonas*, *Dyadobacter* и *Arthrobacter*) и увеличение азотфиксации (прокариотного энергоемкого процесса, априори соответствующего г-стратегии). Изучение процессов дыхания, азотфиксации и денитрификации в исследуемых почвах, показало, что бактерии находятся в жизнеспособном состоянии и способны проявлять свою активность по всему профилю. Особенно, этот вывод важен для инертного слоя, микробная биомасса которого представлена преимущественно бактериями.

УДК 631.46

ФИТОЛИТЫ В ПОЧВАХ КАК ИСТОЧНИК ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Гольева А.А.

Институт географии РАН, Москва, e-mail Golyevaaa@yandex.ru

Фитолиты (микроскопические кремниевые копии клеток растений) для почв являются включениями, поскольку поступают в почвы с растительным опадом, то есть извне. Но поскольку эти частицы обладают оригинальными формами и высокой сохранностью, то накапливаясь в почвах, они формируют самостоятельные фитолитные комплексы и профили. Многие растения, особенно однодольные и голосеменные, осаждают кремнезем в строго определенных, генетически обусловленных клетках. Они имеют различную форму, и получившаяся кремниевая копия клетки повторяет её, создавая фитолиты. Словом, одни и те же растения формируют морфологически одинаковые фитолиты, хорошо диагностируемые и отличающиеся от фитолитов, сформированных другими растениями.

Растительный покров является одним из факторов почвообразования, то есть процесс попадания фитолитов в составе растительного опада на поверхность почвы закономерен. Каждое растительное сообщество образует свой набор фитолитов – фитолитный комплекс. Смена растительного сообщества влечет за собой изменение состава фитолитного комплекса. Это позволяет использовать фитолитный анализ для

палеоэкологических реконструкций динамики ландшафтов. Одним из наиболее востребованным направлением, где используется фитолиитный анализ, является археологическое почвоведение.

В работе приведены результаты комплексного исследования на археологическом памятнике поселение Сычево 1 (Калининградская область, Зеленоградский район).

Климат района охранных раскопок характеризуется как переходный от морского к умеренно континентальному. Среднегодовая температура воздуха — 7 °С. Годовое количество атмосферных осадков — 750—800 мм, из которых большая часть выпадает в тёплый период. Почвообразующая порода – крупнозернистый песок, современная растительность – осинник с хорошо развитым травянистым ярусом.

На восточной стенке раскопа была вскрыта последовательно перекрывающая друг друга пачка отложений, начиная с V века н.э. до наших дней. Самый ранний культурный слой залегает на среднеголоценовом аллювии.

В хронологической последовательности снизу-вверх наблюдалась следующая смена культурных слоев и древних пахотных горизонтов: культурный слой V-VI вв. (балты) – слой наноса, переотложенного культурного слоя (VI-XII вв.) – пахотный горизонт и культурный слой XIII-XVI вв. (тевтонской орденом) – слой агрогенной эрозии XIX в. – переотложенный агрогенный горизонт XX в. – современный дерновый горизонт XXI в.

Помимо фитолиитного анализа, в образцах были определены рНводн., С орг., валовый фосфор (рисунок 1). Морфологическое описание и обозначения фитолиитов представлены согласно требованиям Международного свода номенклатуры фитолиитов (ICPN) 2.0. Вся толща имеет нейтральную-слабокислую реакцию почвенных растворов. Значения рН варьируют от 5,95 до 6,77 без какой-либо закономерности варьирования по профилю. Органического углерода практически во всех исследованных образцах больше 1,5 %. Исключением является самый нижний горизонт (слой аллювия), где Сорг. составляет 0.69 %. Следует отметить, что наибольшие концентрации органического вещества отмечаются в самом раннем культурном слое. В переотложенных агрогенных слоях содержание органики наименьшее среди всех образцов, связанных с хозяйственной деятельностью человека.

Содержание валового фосфора коррелирует с распределением Сорг. То есть минимальные значения отмечаются в слое аллювия, максимальные – в культурном слое балтов, далее – в слое, относящемся к теуто́нскому ордену. В толще XIX – XXI веков фосфора немного, но больше, чем требуется для естественных почв. То есть содержание и распределение органического вещества и валового фосфора – это независимые маркеры культурных слоев, агрогенных горизонтов и исходной породы.

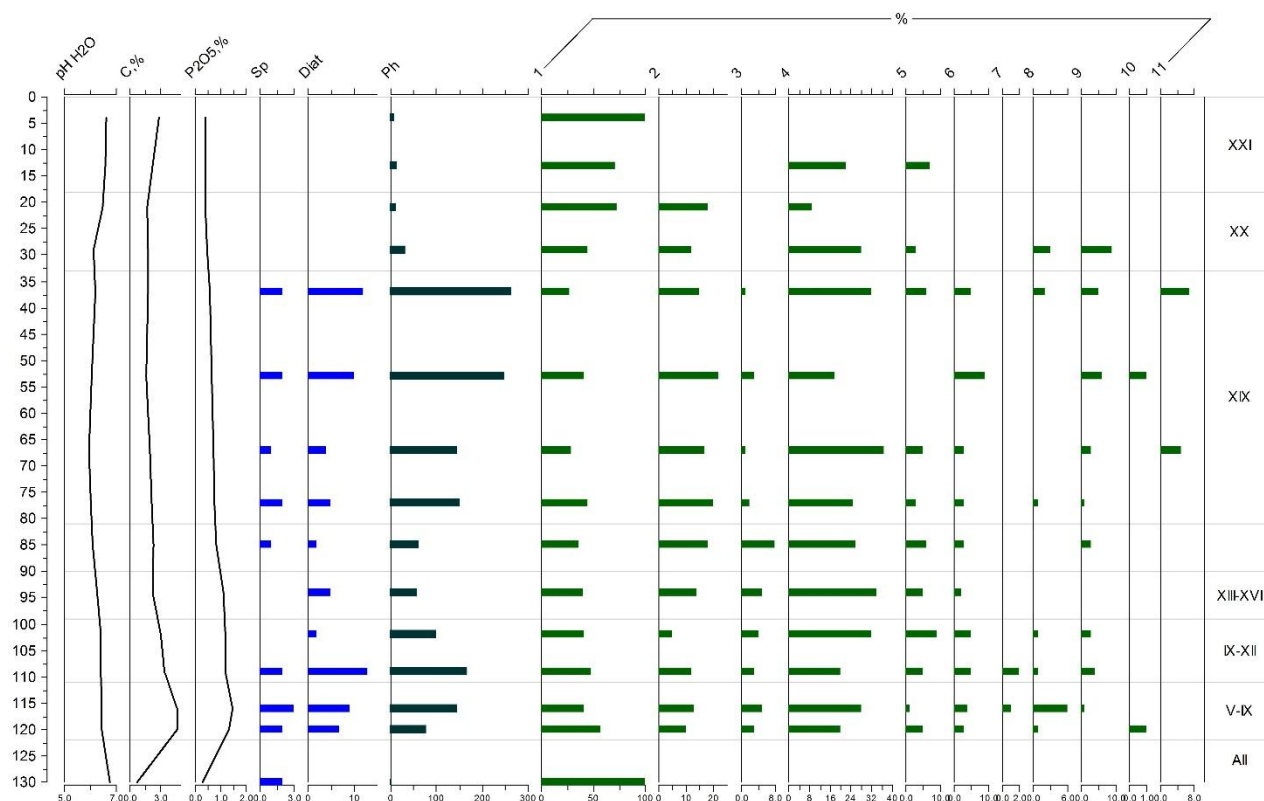


Рисунок 1. Поселение Сычево 1. Основные химические и микробиоморфные свойства. Ключ к обозначениям по горизонтали: Sp. – спикулы губок; Diat. – панцири диатомовых водорослей; Ph – фитолиды. Их значения даны в штуках на стандартный объем. По вертикали слева (арабские цифры) дана глубина в см, справа (римские цифры) – археологический возраст отложений (века н.э.). Цифрами показаны следующие морфотипы фитолидов: 1 - ELO_ENT (двудольные травы); 2 - BLO_RES, BLO_VEL (иглы хвойных); 3 - ACU_BUL_L (лесные злаки и осоки); 4 - ACU_BUL_S; BIL; ELO_SIN; POL (луговые злаки); 5 - RON_CON; RON_TRZ (степные злаки); 6 - ELO_DET (культурные злаки); 7 – BLO_POL (аридная флора); 8 – ACU_BUL_XL (сорная флора); 9 - BUL_FLA (тростник/камыш); 10 – SPH_PSI (мхи); 11 – обломки.

В выделенной биогенной фракции помимо фитолидов были обнаружены спикулы губок и обломки панцирей диатомовых водорослей. Их количество невелико, в большинстве случаев существенно меньше, чем фитолидов. Исключением является самый нижний аллювиальный слой, в котором выявлен лишь один фитолиз. Описываемое соотношение между гидрофильными организмами (спикулы губок и панцири диатомовых водорослей) и фитолидами является достаточно надежным диагностом генезиса слоя или горизонта. То есть, при существенном превышении количества фитолидов над спикулами и диатомовыми водорослями можно уверенно делать вывод об автоморфном генезисе слоя или горизонта. Если наблюдается обратная картина, то есть фитолидов меньше, то образец создан за счет действия вод (стоячих или текущих).

В исследуемой колонке образцов спикулы губок и панцири диатомовых водорослей в небольших количествах относительно равномерно присутствовали в образцах, относящихся к V – XIX векам. В более поздних слоях данных частиц нет. Наличие этих частиц типично для археологических образцов. В случае пахотных горизонтов делается вывод о поливе полей речной или озерной водой, в культурных слоях можно говорить о примеси навоза.

Количество фитолидов по профилю меняется в широком диапазоне: от 264 единиц на стандартный просмотренный объем до 1 штуки в самом нижнем горизонте. Антропогенно трансформированные горизонты, как правило, характеризуются разным количеством

фитолитов. Это связано с генезисом слоя. Например, если при формировании слоя использовались большие объемы древесины, то фитолитов будет мало, поскольку древесина эти частицы не формирует. А если слой создавался за счет бытового и хозяйственного мусора (сгнившие тростниковые перекрытия, подстилки для скота, навоз и т.п.), то количество фитолитов может быть огромно. В рассматриваемой колонке, наибольшие количества фитолитов отмечаются в агрогенных слоях XIX века. То есть можно уверенно говорить, что пашни того времени удобрялись навозом. Относительно много фитолитов в ранних культурных слоях по сравнению с аналогичными слоями XIII-XVI веков. То есть доля растительного сырья в быту у племен балтов составляла существенно большую часть по сравнению с жителями тевтонского ордена. Образцы, относящиеся в XX и XXI векам обеднены фитолитами. Это связано с существенным уменьшением антропогенного пресса на территорию. Можно добавить, что в пахотные горизонты XX века не вносились органические удобрения.

Состав фитолитных комплексов различается в первую очередь количеством выделенных биоценологических групп. Образцы, наименее измененные хозяйственной деятельностью, (в нашем случае - относящиеся к последнему времени), содержат, как правило, не более 3 групп, представленных растениями естественных ландшафтов, среди которых могут быть лесные злаки и осоки, хвойные, луговое разнотравье, ксероморфные злаки. Образцы, характеризующие культурные слои, выделяются большим разнообразием морфотипов. В этих образцах можно встретить формы, связанные с культурными злаками, сорной флорой, тростником (или камышом). То есть с микроостатками растений, которые были искусственно принесены человеком в бытовых и/или хозяйственных целях.

В рассматриваемой разновозрастной колонке из раскопа поселения Сычево 1 фитолиты культурных злаков (столбец 6 рисунка) есть во всех образцах, относящихся к V-XIX векам. То есть эти и прилегающие земли распахивались практически без перерыва более 1000 лет. Учитывая песчаный гранулометрический состав региона исследования, можно говорить о длительных и масштабных процессах агрогенной эрозии, кардинально изменивших исходный ландшафт.

Помимо культурных злаков, регулярно встречаются формы, относящиеся к, так называемой, сорной флоре (столбец 8 рисунка). В эту группу входят такие растения, как крапива, конопля и хмель. Ранее данные растения не считались сорными, они входили в состав культурных. Фитолиты этих растений имеют слабую сохранность, поэтому даже небольшое их количество в образце позволяет говорить, что исходно их доля могла быть существенно выше. Таким образом, можно сделать вывод, что в регионе помимо злаков, выращивали и другие, необходимые в быту растения.

Итак, фитолитный анализ позволяет определять:

- генезис слоя: автоморфный или гидроморфный;
- генезис слоя: природный или антропогенный;
- использование органических удобрений в сельском хозяйстве в прошлые эпохи;
- специфику использования растительного сырья у представителей разных народов;
- возможный набор сельскохозяйственных культур и длительность агрогенеза.

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания ИГ РАН № FMWS-2024-0010.

УДК 631.4:504.7

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ТВЁРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В ГОРОДСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ

Гончаров Н.В.¹, Прокофьева Т.В.¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: goncharov7991@gmail.com

Важную роль в техногенном преобразовании городских экосистем играет загрязнение атмосферы. При этом одним из главных загрязняющих веществ являются взвешенные в атмосфере твердые частицы, которые могут оказывать значительное влияние на

компоненты городских экосистем: изменять параметры глобального и приземного городского климата, являться источником загрязнения почв и угнетения растительности, оказывать прямой вред здоровью человека. Опубликовано большое количество работ по изучению подобных частиц, значительная часть которых посвящена исследованиям химического состава. Также представлены работы, посвященные изучению морфологических свойств, биологической составляющей. Тем не менее, вопрос влияния данных частиц на компоненты городских экосистем остается недостаточно освещенным. Твердыми атмосферными выпадениями (ТАВ) называют частицы атмосферного аэрозоля, попавшие на поверхность Земли под воздействием силы тяжести. Для характеристики пылевого материала, регулярно поступающего в городские экосистемы города Москвы, был применен комплекс методов для определения вещественного, химического состава ТАВ, проведено сопряженное исследование микробиологического состава ТАВ и почв, изучено влияние ТАВ на гидратационные свойства почв и влияние на растения.

Объекты

Работа выполнена на 7 участках исследования, расположенных в различных частях города Москвы. Основой для выбора участков служили принадлежность к определённому типу функциональных зон города, характеризующих различную степень техногенной нагрузки.

Методы

Сбор проб ТАВ осуществлялся при помощи прямого осаждения пыли на пылеловушки, также использовались сметы с поверхностей. Определение вещественного состава ТАВ основано на работах коллектива авторов Томского политехнического университета под руководством проф. Е.Г.Язикова. Изучение микробиологического состава ТАВ проводилось с помощью посева на питательную среду, далее использовали молекулярно-генетические методы, метод прямой люминесцентной микроскопии. Исследование токсичности ТАВ для растений проводилось на основе методики “Фитоскан” ФР.1.31.2012.11560 с предложенным способом добавления ТАВ в тест-почву. Для определения гидрофобности почв, загрязненных ТАВ использовали метод просачивания водной капли. В работе, в том числе и для ТАВ, использовались традиционные методы проведения химического анализа почв.

Результаты

Большинство участков исследования являются незагрязненными или имеют слабую аэральную нагрузку. Наибольшая пылевая нагрузка характерна для участков вблизи автомагистралей и участков с активным пылением поверхности, в том числе в результате антропогенной активности. Меньшая нагрузка получена для участков, расположенных в зонах с более низкой интенсивностью автомобильного трафика и близостью участков зеленых насаждений.

Для всех исследуемых участков ТАВ имеют преимущественно почвенно-породное происхождение (в среднем 65% от объема пробы) сопровождаемое наличием техногенных примесей более-менее одинакового состава на всех участках. При этом для ряда участков обнаружены частицы, которые могут иметь индикационное значение: пленки нефтепродуктов и частицы асфальта около магистралей, микрофрагменты строительных материалов, характерных для застройки данного района, ткани и зачатки растений, обитающих на данной территории.

Согласно результатам вещественного состава, содержание органической компоненты в целом постоянно и составляет 22% от пробы. ТАВ является носителем целого ряда организмов (водорослей, дрожжей, грибов, бактерий), что говорит о ТАВ как об важном связующем звене между компонентами экосистем и как переносчике биологических компонентов, которые могут увеличивать биологическое разнообразие природных экосистем внутри города.

Определение химического валового состава ТАВ и почв участков исследования показали сопоставимые значения. Показано, что ТАВ имеют преимущественно почвенно-породное происхождение, однако служат источником поступления в почву тяжелых металлов,

связанных с антропогенными выбросами, а также солей, прежде всего карбонатов кальция. Данный тезис подтверждается микроанализом ТАВ и анализом микровключений в поверхностном горизонте почв на участках исследования.

Микробиологический анализ ТАВ показал, что состав исследованных групп микроорганизмов в пыли и почвах города близок. Среди культивируемых санитарно-показательных организмов 74% видов встречаются как в ТАВ, так и в почвах. Анализ филогенетического разнообразия показал, что 4 из 10 филумов являются общими для ТАВ и почв, при этом именно общие филумы являются доминирующими (содержание в пробе от 76 до 100%), что указывает на тесную экологическую связь ТАВ и почв.

Проведенные эксперименты по фитотестированию показали наличие значимого негативного влияния ТАВ для растений при высоких уровнях пылевой нагрузки. Скорость ингибирования роста корней, в зависимости от выбранной тест-культуры составляет от 12 до 34%. При этом характер распределения негативного эффекта меняется в зависимости от свойств пыли.

Анализ гидрофобности показал связь пылевой нагрузки и водоотталкивающих свойств почвы. Максимальная гидрофобность почв, загрязненных ТАВ, доходила до 84% от исходной гидрофобности городской пыли. При этом скорость увеличения водоотталкивающей способности отличается в зависимости от свойств образца пылевых выпадений. Соответствие уровней гидрофобности, степени антропогенной нагрузки и времени пребывания участков в городской среде в модельном опыте свидетельствует о том, что ТАВ являются составляющей гумусово-аккумулятивных горизонтов городских почв и оказывают существенное влияние на их водоотталкивающие свойства.

Выводы

1. Комплексный подход к изучению твердых атмосферных выпадений демонстрирует их тесную взаимосвязь с почвенным покровом. При этом ТАВ, имея в основе компоненты почвенного происхождения выступают не только как производное почвы, но и как фактор негативного воздействия на нее, проявляющийся в химическом загрязнении, увеличении гидрофобных свойств, встраивании антропогенных частиц в гумусово-аккумулятивные горизонты;
2. Твердые атмосферные выпадения зон с высокой антропогенной нагрузкой являются источником токсического воздействия, что проявляется в негативном влиянии на рост и развитие растений за счет изменения их жизненных условий: загрязнения и гидрофобизации почв;
3. Твердые атмосферные выпадения являются связующим звеном в экосистеме города, создающим условия для обитания и распространения разных групп организмов (бактерии, водоросли, грибы, растения) и поддерживающим связь между растительностью, микроорганизмами и почвами.

УДК 631.481

СПЕЦИФИКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ИМЕРЕТИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Горбов С.Н.¹, Лобзенко И.П.¹, Тагивердиев С.С.^{1,2}, Скрипников П.Н.^{1,2}

¹Научно-технологический университет «Сириус», Федеральная Территория Сириус, e-mail gorbow@mail.ru;

²Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону.

Имеретинская низменность занимает прибрежную зону Черноморского побережья Кавказа, располагаясь в межречье двух крупных водных артерий – Мзымты и Псоу. Данная территория представляет собой обширное предгорное понижение, которое плавно переходит от южных склонов Большого Кавказа к акватории Черноморского шельфа. Современный рельеф низменности сформировался под воздействием сложного сочетания тектонических процессов и многократных морских трансгрессий, что привело к

образованию разнообразных форм рельефа, включая морские и речные террасы, холмистые массивы, а также обширную аллювиально-морскую равнину. Изначально на территории Имеретинской низменности преобладали естественные почвы, сформировавшиеся на аллювиальных, морских, озерных и болотных отложениях плейстоцена и голоцена. Равнина, расположенная от 0 до 50 метров над уровнем моря, сложена аккумулятивными породами, что обуславливает своеобразие почвенного покрова региона. Здесь преобладали торфяно-болотные, аллювиальные луговые и лугово-болотные почвы. Выше в предгорьях располагается комплекс буроземов и желтоземов. Масштабное олимпийское строительство на территории Имеретинской низменности привело к беспрецедентной антропогенной трансформации почвенного покрова – замене почв антропогенными слоями и рекультивационно-гумусовыми горизонтами, которые в совокупности сформировали новый тип городских почв – урбостратоземы и конструктороземы. В условиях субтропического климата привнесенные в качестве рекультивантов гумусово-аккумулятивные горизонты естественных почв (черноземов и лугово-черноземных почв) подвергаются ускоренной деградации, что находит отражение в химическом составе созданных рекультивационно-гумусовых горизонтов. Современный почвенный покров исследуемого региона демонстрирует выраженную зональность по градиенту высоты. В равнинной части диагностированы аллювиальные почвы речных долин Мзымты и Псоу, сформированные на различных по литологии отложениях: силикатных на западе и карбонатных на востоке федеральной территории. Несмотря на разный состав почвообразующих пород, эти почвы обладают рядом общих черт, включая слоистое строение профиля и аккумуляцию соединений железа и марганца в нижних горизонтах, проявляющуюся в виде характерных ржавых и черных пятен. Для верхних горизонтов типична меньшая плотность сложения и преобладание легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава, что соответствует типу строения. Основные различия между почвами равнинной части связаны с особенностями водного режима и составом аллювиальных отложений, транспортируемых реками Мзымта (преимущественно силикатный материал) и Псоу (преобладание карбонатов). Эти факторы обуславливают специфику почвообразования: западные почвы характеризуются более интенсивным накоплением железа и марганца в иллювиальной части профиля и выраженными процессами оглеения, тогда как восточные отличаются меньшей степенью этих проявлений. На большей части рекреационных зон диагностированы реплантированные урбостратоземы (реплантоземы), которые являются полностью рукотворными почвами. В качестве основы для них послужил щебень различных фракций с элементами строительного мусора и прочий минеральный антропогенный материал. Верхний плодородный слой был сформирован гумусо-аккумулятивными горизонтами черноземов и лугово-черноземных почв привезенных из с северо-востока Краснодарского края и юго-востока Ростовской области. Данные типы являются доминирующими представителями городских почв, наиболее распространенных на территории Имеретинской низменности. Отличительным признаком реплантоземов является наличие рекультивационно-гумусового горизонта R_{AT}, мощность которого не превышает 10-15 см, как правило он характеризуется темно-серой окраской, рыхлые по сложению, с комковато-зернистой или ореховато-комковатой структурой. Гранулометрический состав варьирует от тяжелого до среднего суглинка. Нижележащие антропогенные горизонты уплотнены или плотные, что может затруднять дренаж и способствовать застою воды, провоцируя процессы оглеения. Гранулометрический состав подстилающей антропогенной толщи меняется от тяжелого суглинка в верхней части к среднему и легкому суглинку в нижних горизонтах

почвенного профиля, структура антропогенных горизонтов характеризуется широкой палитрой от глыбистой, ореховатой до плитчато-порошистой.

Необходимо отметить, что рекультивационно-гумусовые горизонты реплантоземов ФТ Сириус формировались с использованием нехарактерного для данного региона материала – гумусо-аккумулятивных горизонтов черноземных почв. Перемещённое в новые термодинамические условия почвенное органическое вещество утратило свою стабильность и в настоящее время активно минерализуется, что сопровождается увеличением эмиссии CO₂. Данный процесс, наряду с падением уменьшением гумусированности горизонтов РАТ свидетельствует об отсутствии стабильности системы в целом и может служить косвенным подтверждением опасных неблагоприятных тенденций в контексте углеродной нейтральности ландшафтных решений на Черноморском побережье.

Результаты получены при финансовой поддержке проекта, реализуемого в рамках государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (Соглашение №3-03 от 18.02.2025).

УДК 631.4

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ КОЛЛОИДНОЙ ФРАКЦИИ ИЗ ПОЧВ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Сухарев А.И.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

Почвенными коллоидами в российском почвоведении считаются частицы размером менее 0,1 мкм. В международной литературе коллоидная составляющая почв принимается равной 1 мкм, что соответствует фракции ила в российской классификации почв по гранулометрическому составу.

Химический состав не позволяет выявить отличия в составе ила и почвенных коллоидов.

Обе фракции могут быть представлены глинистыми минералами, оксидами железа, алюминия и кремния, аморфными минералами и органическими коллоидами.

Взаимодействие между этими компонентами осуществляется посредством гидрофобных, электростатических, Ван-дер-Ваальсовых, водородных и других типов связей.

Анализ расположения коллоидной и илистой фракций в почвах также не позволяет установить между ними различий. Коллоидная составляющая почв способна покрывать неколлоидные частицы и связывать их между собой. Это свойство легло в основу предложенной А.Ф. Тюлиным концепции пленок-гелей. Экспериментальное подтверждение этой теории можно найти в работах. Илистая фракция почв также способна мигрировать по почвенному профилю и покрывать более крупные структурные отдельности. Лессиваж – перенос частиц илистой фракции по почвенному профилю – является иллюстрацией этого процесса. Причем процесс осаждения переносимых илистых частиц контролируется параметрами коагуляции коллоидных систем: концентрацией вещества, составом катионов (насыщенность основаниями) и величиной pH.

Представленные данные позволяют заключить, что разграничения между коллоидами и илистой фракцией в почвах нельзя провести ни по размеру, ни по химической природе, ни по пространственному расположению. Отсутствие различий по размеру, составу и местоположению частиц илистой и коллоидной фракций позволяет объединить их термином илисто-коллоидная фракция.

Основными методами выделения из почв илисто-коллоидной фракции остаются методы седиментации. Они основаны на диспергации частиц в растворителе с применением механического воздействия и последующим осаждением частиц. В качестве растворителя может быть использован раствор пиродифосфата натрия или вода, механическое воздействие

проводится путем измельчения в ступке или воздействием ультразвука, а осаждение происходит путем отстаивания или центрифугирования. Общим недостатком указанных методов является низкая производительность и трудоемкость, которая остро проявляется при определении гранулометрического состава почв. Это привело к постепенному вытеснению методов седиментации методами лазерной дифрактометрии (ЛД), которые, занижают количество илисто-коллоидной фракции по сравнению с пипет-методом. Следует учитывать, что метод седиментации тоже не позволяет получить истинное содержание илисто-коллоидной фракции. В таком контексте возможны два варианта действий. Первый основывается на определении истинного гранулометрического состава и повторном определении всех ранее полученных седиментометрическим методом данных, что практически неосуществимо. Второй вариант заключается в разработке высокопроизводительного метода, позволяющего получать такую же смещенную оценку, как и седиментометрические методы. Этот подход, на наш взгляд, более предпочтителен и может быть основан на свойствах почвенных коллоидов и их существовании в виде связнодисперсных систем – почвенных гелей.

Целью исследования являлась разработка высокопроизводительного метода выделения илисто-коллоидной составляющей почв.

Объекты исследования

В работе использовали образцы серой лесной почвы, которые были отобраны из горизонтов АУ (1); АЕЛ (2); ВЕЛ (3); ВТ (4); ВС (5), образцы из гумусоаккумулятивных горизонтов чернозема типичного: бессменный пар (6) и целина (7), образцы из чернозема обыкновенного горизонты АУ1 (8); АУ2 (9); В1 (10); 0-30 см (11); 30-60 см (12); 150-170 см (13), образцы из каштановой почвы горизонты АЖ (14); ВМК (15); САТ (16); ВС (17). Также в работе использовали образцы из гумусовых горизонтов дерново-подзолистой почвы (Московская область), серой лесной почвы (Тульская область) и чернозема выщелоченного (Орловская область).

Исследования почвенных образцов проводили при помощи растровой электронной микроскопии, рентгено-локального микроанализа, седиментометрического анализа, лазерной дифрактометрии и авторской методики выделения органоминеральных гелей из почв.

Результаты исследования

В ходе проведенных предварительных экспериментов была разработана методика выделения органоминеральных гелей, основанная на этапах извлечения илистой фракции из почв:

1. К 10 г почвы добавляли 30 мл 0,2 н гидроксида аммония (аммиачной воды), обеспечивающей возникновение отрицательного заряда на поверхностях большинства минералов и органического вещества почв.
2. Затем суспензию почвы в течение 60 с обрабатывали ультразвуком, внося волновод в центрифужную пробирку объемом 50 мл. Использовали ультразвуковой диспергатор МОД МЭФ 91.1 (Россия). Интенсивность УЗ воздействия до 250 Вт/см² при частоте 22 кГц и амплитуде 45 мкм.
3. После этого на центрифуге Eppendorf 5804 с ротором А-4-44 при 1000 об/мин в пробирках на 50 мл осаждали минеральные неколлоидные частицы в течение 5 минут.
4. Надосадочную жидкость сливали в бюксы, высушивали на песчаной бане и досушивали в сушильном шкафу при 105°C. После этого определяли массу осадка.

Результаты исследования показали, что при описанной обработке эффективно удаляются почвенные коллоиды, перешедшие в надосадочную жидкость с поверхности неколлоидных минеральных частиц. Это подтверждается не только данными растровой электронной микроскопии (РЭМ), но и осветлением поверхности минеральных частиц, обусловленным удалением гумуса.

Проверка соответствия выделенных коллоидов свойствам гелей

Согласно литературным данным, гели обладают следующими характеристиками:

1. Состоят из коллоидных частиц твердой фазы и способны удерживать различное количество воды, в результате чего плотность гелей может быть близка к плотности воды.
2. Коллоидная система способна коагулировать при увеличении ионной силы или температуры.
3. Гели представляют собой твердообразную фазу, для которой характерны предельное напряжение сдвига и тиксотропные свойства.
4. Электропроводность электролитов в гелях близка к значениям электропроводности чистой дисперсионной среды.

Чтобы подтвердить первое свойство, проанализировали надосадочную жидкость после ультразвуковой обработки и центрифугирования почвенных суспензий с помощью лазерного дифрактометра. Результаты дифрактометрии показали, что взвешенные частицы имеют размеры от десятков до сотен микрон. Это согласуется с данными литературы, в которой показано, что илистая фракция почв может достигать размеров в десятки микрон. При этом её средняя плотность составляет около $1,02 \text{ г/см}^3$, что близко к плотности воды. Для проверки наличия у суспензии илистой фракции второго свойства коллоидов – коагуляции – мы снизили pH и увеличили ионную силу. Надосадочную жидкость после первого выделения сливали в мерный стакан, добавляли 15 мл 1 н раствора соляной кислоты. После этого перемешивали суспензию в течение 5 минут. Для осаждения коагулировавших коллоидов полученную суспензию повторно центрифугирование уже при 5000 об/мин в течение 5 минут. После центрифугирования раствор в пробирке обесцвечивался, а на дне пробирки появлялся осадок. Результаты эксперимента позволяют подтвердить второе свойство почвенных коллоидов – способность к коагуляции.

Для демонстрации третьего свойства – тиксотропии – мы выделили илисто-коллоидную суспензию из каштановой почвы, добавили ионообменную смолу для снижения pH с 9,6 до 6,4 и коагуляции геля. Ионообменную смолу отделили от суспензии фильтрованием через сито. После этого суспензию залили в кювету для вибрационной вискозиметрии и фиксировали изменение вязкости во времени. Результаты эксперимента показывают, что вязкость образца с увеличением длительности опыта возрастает. Это подтверждает наличие у выделенной фракции третьего свойства гелей – тиксотропии.

Четвертое свойство – электропроводность электролитов в гелях близка к значениям электропроводности чистой дисперсионной среды. Для проверки этого критерия мы выделили гелевую суспензию из образца каштановой¹ почвы. К 100 мл выделенной суспензии добавили 20 мл 1 н соляной кислоты и провели центрифугирование при 5000 об/мин. После этого измерили электропроводность в слое надосадочной жидкости. Затем надосадочную жидкость добавили в песок и измерили электропроводность осадка геля и надосадочной жидкости в песке. Результаты опытов говорят о том, что электропроводность дисперсионной среды в надосадочной жидкости составила $15,4 \pm 0,5 \text{ мСм}$ в гелевом слое $11,6 \pm 0,7 \text{ мСм}$, а при добавлении в песок $5,9 \pm 0,4 \text{ мСм}$, т.е. почти в два раза ниже.

Таким образом, в ходе проведенных экспериментов разработан метод выделения илисто-коллоидной составляющей почв, свойства которой соответствуют свойствам гелей.

Уточнение методики с целью количественного выделения гелей из почв

На следующем этапе исследования было изучено влияние количества обработок почвы гидроксидом аммония и ультразвуком (УЗ) на количество выделяемых гелей. После первичного выделения гелей и удаления надосадочной жидкости, в пробирки повторно добавляли раствор гидроксида аммония, проводили УЗ-обработку и центрифугировали при 1000 об/мин. Этот процесс повторяли трижды. Полученные три объема суспензий объединяли и удаляли из них воду на песчаной бане с последующей досушкой в

¹ Образец 14 в соответствии с разделом «Объекты и методы исследования».

термостате при 105°C. Процентное содержание фракции в 10 г почвы определяли по разнице масс до и после удаления воды.

Анализ данных показал, что с увеличением количества УЗ обработок-центрифугирований прирост количества выделяемых гелей снижается. Например, на черноземе выщелоченном, при первой обработке выделилось 2,06 г гелей, при второй — 0,53 г (суммарно 2,6 г), а при третьей — 0,28 г. Таким образом, около 90% гелевой фракции выделяется при двухкратной обработке, что позволяет ограничиться двумя циклами выделения.

Проверка соответствия содержания почвенных гелей и илистой фракции почв

Проведенная на 14 образцах почв и почвенных горизонтов проверка показала (рис.1), что содержание илистой фракции, определенное седиментометрическим методом, соответствует содержанию органоминеральных гелей, выделенных предложенным методом. Коэффициент корреляции превышает 90%, а коэффициент детерминации составляет 88%. То есть использование способности почвенных коллоидов к образованию связнодисперсных систем – гелей позволило разработать метод выделения илисто-коллоидной фракции.

Экспресс-метод выделения из почв гелевой, т.е. илисто-коллоидной фракции позволяет разделять почвы на две фракции: илисто-коллоидную и пылевато-песчаную и определять их количественно. Это дает возможность создать комбинированный высокопроизводительный метод определения содержания физической глины в образцах почв:

1. Данные по илистой фракции метода лазерной дифрактометрии (ЛД) заменяют на значения илистой фракции предложенного метода с поправкой на коэффициенты в уравнении.
2. Для перехода от объемных процентов в методе ЛД к весовым процентам содержание каждой пылевато-песчаной фракции, полученной методом ЛД, умножают на среднюю плотность минеральных частиц – 2,65 г/см³.
3. Полученные значения пылевато-песчаной фракции для каждого почвенного образца суммируют и приравнивают к доле пылевато-песчаной фракции, которую рассчитывают, вычитая из 100% долю илисто-коллоидной фракции (%), полученной предлагаемым методом.
4. Для получения доли каждой фракции (%) в образце почв проводили пересчет по формуле: выбранная фракция / сумма всех фракций * суммарная доля (%) пылевато-песчаной фракции в образце.

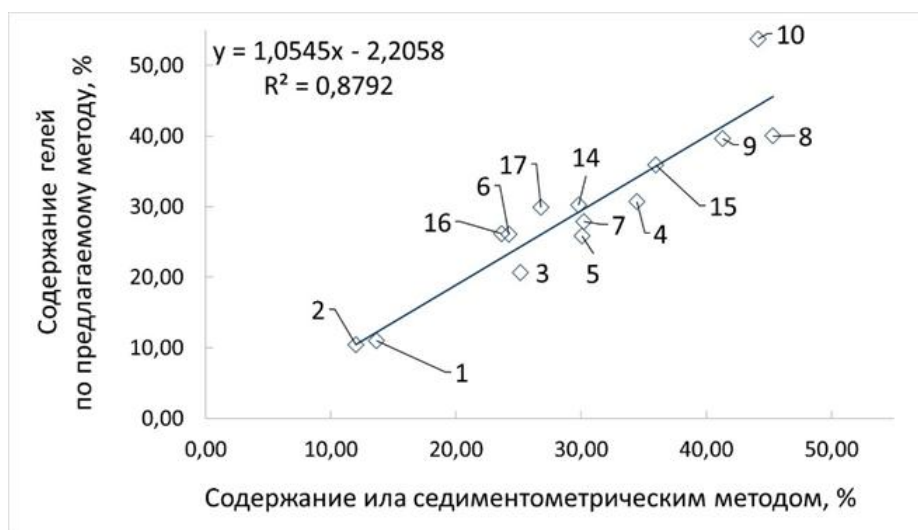


Рис. 1. Отношение количества гелей, выделяемых по предлагаемому методу и ила в почвах, определяемое седиментометрическим методом. Нумерация точек дана в соответствии с разделом «Объекты исследования».

Верификация предложенного метода показала, что наблюдается хорошее совпадение содержания физической глины в образцах почв, определяемое седиментометрическим и комбинированным методами. Коэффициент детерминации по сравнению с методом ЛД увеличивается с 0,69 до 0,85. Расширение объемов и размаха выборки позволит при помощи полученной корреляции использовать комбинированный метод для определения текстурных классов, созданных на основе седиментометрических методов.

Выводы

1. Предложен метод выделения из почв илисто-коллоидной фракции, основанный на ультразвуковой обработке почвенной суспензии в 0,2 н растворе гидроксида аммония с последующим выделением из суспензии минеральных частиц центрифугированием, отделении илистой суспензии, удалением из неё воды и высушиванием.
2. Проведенная проверка свойств надосадочной жидкости, отделенной от неколлоидных минеральных частиц в процессе выделения илистой фракции, выявила наличие в ней свойств связнодисперсных коллоидных систем – гелей: низкой плотности, способности к коагуляции и тиксотропии. При этом электропроводность гелей близка к электропроводности дисперсионной среды.
3. Установлена корреляция между содержанием илистой фракции, определяемой седиментометрическим методом, и количеством гелей, выделенных из почв в соответствии с предложенным методом. Коэффициент корреляции составляет 0,94.
4. Предложен метод улучшения корреляции между содержанием физической глины методом лазерного дифрактометра и седиментометрическим методом. Он основан на замене содержания илистой фракции, полученной методом лазерной дифрактометрии, на содержание илистой фракции, полученной предлагаемым методом.

УДК 631.423.6:631.82

МИКРОБНОЕ ДЫХАНИЕ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО РЕГИОНА

Деревенец Е.Н., Кулачкова С.А., Кубарев Е.Н.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, lizaderevenets@yandex.ru

В целях адаптации к климатическим изменениям и решения проблем продовольственной безопасности, необходимо использовать потенциал агроэкосистем Центральной Азии и разрабатывать для них технологии секвестрации углерода. Такие технологии направлены на снижение атмосферной концентрации CO₂ и секвестрацию углерода в фитомассе и почве, что также повышает почвенное плодородие и способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

В связи с уникальными характеристиками региона, особой ролью климатических условий (влажности и температуры) и возможным засолением почв, с одной стороны, и отсутствием комплексных исследований углеродного цикла экосистем, с другой стороны, затруднены оценки вклада микробного сообщества почв в общий поток углекислого газа из почв. Это, в свою очередь, делает на данный момент невозможным учет микробиологических показателей в моделировании для оценки и прогноза эмиссии парниковых газов на территории Центральной Азии. Установлено, что вклад микробного дыхания в почвенную эмиссию CO₂ в умеренном климате может достигать 90-95%, что существенно в оценке пулов и поток углерода в экосистеме. Для почв Центральной Азии данный параметр не определен, хотя управление микробным дыханием почв может иметь потенциал для разработки технологий секвестрации углерода.

Наиболее распространенным методом изучения дыхания микроорганизмов остаются лабораторные инкубационные эксперименты, в которых оценивается выделение CO₂. Для засушливых регионов необходимо принять допущение, что базальное дыхание почв и углеродная биомасса, определенные при оптимальных температуре и влажности,

принятых в методиках, в меньшей степени соответствуют естественным гидротермическим условиям, чем в регионах с достаточным увлажнением.

В рекогносцировочных целях проведено исследование микробного (базального) дыхания почв агроэкосистем Таджикистана и Кыргызстана. Почвенные пробы отобраны с глубины 0-10 см из пахотного горизонта в августе 2025 года. Преобладающие типы почв территории исследований в низкогорьях – агросероземы и горные темные сероземы, в высокогорьях – горные коричневые почвы. Культуры, произрастающие в местах отбора проб: бахчевые, картофель, кукуруза, люцерна, пшеница, рожь, сорго и совместные посадки сорго с кукурузой, многолетние сенокосные травы.

Гранулометрический состав определен методом шнура, pH и электропроводность почв – потенциометрическим методом. Микробиологические характеристики почв оценивали кинетическими методами по выделению CO_2 , количество которого анализировали на газовом хроматографе Кристаллюкс 4000М (НПФ «Мета-хром», Йошкар-Ола, Россия) с детектором по теплопроводности. Навески воздушно-сухой почвы в трехкратной повторности увлажняли до 60% полной влагоемкости и предынкубировали в эксикаторе над дистиллированной водой в течение трех суток при температуре 22–24°C. Базальное дыхание (БД) оценивали по выделению CO_2 нативной почвой за 23–24 часа инкубации, выражали в $\text{мкг С-СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$. Содержание углерода микробной биомассы ($\text{С}_{\text{мик}}$) почв определяли в тех же образцах методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) при добавлении к почве во флаконах раствора глюкозы (0,1 мл на 1 г почвы) с концентрацией $10 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ сухой почвы. Время инкубации 2–3 ч.

Статистическую обработку данных проводили в программе Statistica 8.0 и с применением программной оболочки RStudio. Связи между показателями устанавливали на основе рангового коэффициента корреляции Спирмена. Статистические гипотезы проверяли с уровнем значимости 0,05.

По всему массиву данных ($n=20$) корреляции микробиологических показателей с почвенными свойствами не установлено, в том числе с $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, что важно для обоснования возможности измерения базального дыхания почв использованным методом.

Для дальнейшего сравнительного анализа нами были выделены группы почвенных проб с разным гранулометрическим составом (легкосуглинистые и среднесуглинистые), а также со значениями $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ меньше и больше 8. Для массива легкосуглинистых почв с $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ больше 8 не наблюдается корреляций по Спирмену ($n=4$). Статистически значимых отличий микробиологических показателей в разных группах по pH установлено не было, поэтому далее они анализировались вместе.

Рассчитаны медианы содержания углерода микробной биомассы, а также интенсивности базального дыхания почв под различными культурами. Минимальное содержание $\text{С}_{\text{мик}}$ выявлено в почвах под кукурузой ($43 \text{ мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$ почвы), максимальное – под травами ($1501 \text{ мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$ почвы). Показатели микробной биомассы в почвах под остальными культурами схожи и находятся в диапазоне от 251 до $496 \text{ мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$ почвы.

Низкая интенсивность БД почв выявлена для участков под кукурузой ($0,24 \text{ мкг С-СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$) при наименьшем содержании $\text{С}_{\text{мик}}$ и под травами ($0,35 \text{ мкг С-СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$) при наибольшем содержании $\text{С}_{\text{мик}}$. Также сравнительно низкая интенсивность БД наблюдалась в почвах под картофелем ($0,43 \text{ мкг С-СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$), рожью ($0,47 \text{ мкг С-СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$) и сорго ($0,57 \text{ мкг С-СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$). Высокие значения отмечены в почвах под пшеницей ($1,58 \text{ мкг С-СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$) и бахчой ($1,28 \text{ мкг С-СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$) (рис. 1).

Выявлены следующие значимые отличия для почв под одной культурой. Интенсивность БД почв под люцерной, произрастающей на соседних полях, на легкосуглинистой почве были в 9 раз ниже, чем на среднесуглинистой. Почвы под сорго в посадках с кукурузой обладали более интенсивным микробным дыханием, чем под монокультурой.

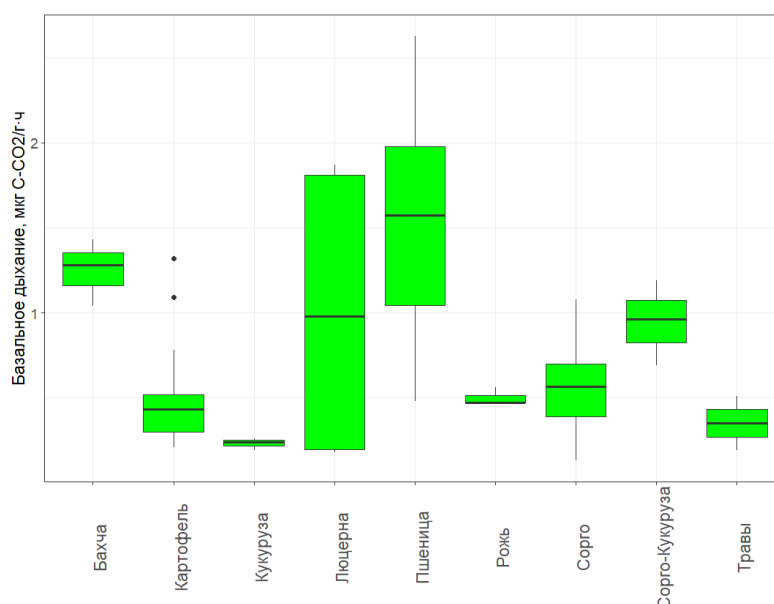


Рис. 1. Базальное дыхание почв под различными культурами в агроэкосистемах Таджикистана и Кыргызстана (медиана, квартили).

Таким образом, микробное дыхание почв под пшеницей, люцерной и бахчевыми культурами для исследованной территории может иметь больший вклад в продукцию CO₂ почвами, что важно учитывать при разработке технологий, направленных на снижение эмиссии CO₂ и повышение потенциала секвестрации углерода в почвах.

Исследование выполнено в рамках НИР по теме «Продовольственная безопасность и перспективы сотрудничества в агропромышленной сфере стран Евразийского региона» (№ 125042405447-0) Евразийского центра по продовольственной безопасности (Аграрного центра) МГУ имени М.В.Ломоносова.

УДК 631.433.3

ИНДИКАЦИЯ ПЕРЕХОДА ПОЧВЕННОГО МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ИЗ ПОКОЯЩЕГОСЯ В АКТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТКИ ³³P

Евдокимов И.В.¹, Благодатская Е.В.²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН ИФХиБПП РАН, Пущино, e-mail ilyaevd@yahoo.com ;

²Department of Soil Ecology, Helmholtz-Centre for Environmental Research – UFZ, Halle (Saale), Germany

Фосфор в составе почвенной микробной биомассы представляет собой один из самых недооцененных источников легкодоступного Р в почве. Хотя максимальные оценки микробного Р в почвах относительно невысоки (до 7.5% от общего Р), надежная оценка Р в микробной биомассе (Р_{мик}) необходима для адекватного понимания роли этого фосфорного пула. Широко используемый фумигационный метод дает крайне искаженные оценки ввиду использования постоянной величины извлекаемости микробного фосфора (k_p) в 0.4 для всех почв. Целью нашего исследования было оценить k_p в зависимости от почвенного типа, а также статуса активности почвенной микробной биомассы и поступления Р в микробную ДНК путем внесения метки ³³P в образцы чернозема, каштановой, подзолистой и серой лесной почв, с последующей 3-сут инкубацией при 20°C и 60% полной влагоемкости. Имобилизация ³³P варьировала от 10 до 25% от ³³P внесенного (контроли без активации) и от 37 to 59% в почвах, активированных внесением источников легкодоступного С (глюкоза) и Р (гидрофосфат калия). Доля ³³P-ДНК в составе Р_{мик} (³³P_{мик}) была в среднем в 1.9 раза выше в контроле, чем в активированной почве, показывая, таким образом, что после активации почвенные микроорганизмы

используют свежее-иммобилизованный фосфор для синтеза других, отличных от ДНК Р-содержащих соединений, вероятно – РНК, фосфорилированных сахаров и протеинов. Величины k_p возрастали во всех типах почв при внесении легкодоступных источников углерода и фосфора. Переход почвенного микробного сообщества из покоящегося в активное состояние сопровождался: 1) увеличением иммобилизации легкодоступного Р (с $\leq 25\%$ до $\geq 37\%$); 2) уменьшением доли ^{33}P -ДНК в составе $^{33}\text{P}_{\text{мик}}$ примерно вдвое по сравнению с покоящейся почвой. Данные феномены были выявлены впервые; они могут быть использованы в дальнейшем для индикации сдвигов в микробном сообществе от покоящегося к активному состоянию.

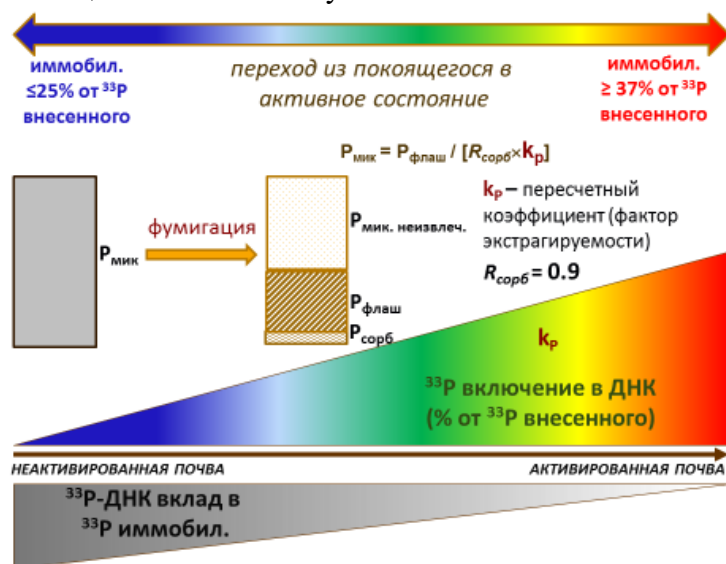


Рис. Концептуальная схема индикации перехода почвенного микробного сообщества из покоящегося в активное состояние.

УДК 556.5:546

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ФОНОВЫХ ОЗЁРНЫХ ЭКОСИСТЕМ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. ГЛУБОКОЕ)

Захарчишин Д.А.¹, Цветнова О.Б.¹, Щеглов А.И.¹, Коровчинский Н.М.²

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: d.zaharchishin@yandex.ru;

²ИПЭЭ имени А.Н.Северцова РАН, Москва

Определение «фоновых» уровней содержания загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды служит отправной точкой для последующих исследований и сравнения полученных результатов, без чего невозможна достоверная оценка антропогенного воздействия на окружающую среду и принятие адекватных мер для рационального природопользования и минимизации негативного воздействия экотоксикантов на живые объекты биосферы.

Вследствие роста антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды современное фоновое состояние экосистем требует постоянной корректировки. Особенно остро стоят вопросы изучения фонового состояния водных (и в частности — озёрных) экосистем. Например, для донных отложений не разработаны нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ. Поэтому основной метод оценки экологического состояния донных отложений — это расчёт кратности превышения фоновых концентраций загрязняющих веществ.

Ввиду этого актуальным является изучение распределения тяжёлых металлов и радионуклидов в фоновых озёрных экосистемах.

В качестве объекта исследования было выбрано оз. Глубокое, расположенное в Рузском районе Московской области. Озеро расположено в 50 км от Москвы, входит в состав

государственного природного заказника регионального значения «Озеро Глубокое и его окружение». Это мезотрофное озеро площадью около 60 га, средней глубиной 9 м, наибольшей глубиной — 32 м; площадь водосбора — 26 кв. км. Типы донных отложений существенно изменяются с глубиной — от песчаных, песчано-илистых до илисто-песчаных и илистых.

Цель исследования — изучить закономерности распределения тяжёлых металлов и радионуклидов в верхнем 10-см слое донных отложениях оз. Глубокое.

В ходе исследования был произведён отбор проб по трём профилям: два в центральной части озера (ЮЗ-СВ и СЗ-ЮВ) и один в заливе (С-Ю). Отбор проб проводился дночерпателем Экмана-Бержда с поверхностного слоя 0-10 см на различных глубинах от 2 до 15 метров. Всего отобрано 9 образцов — по три с каждого направления (в направлении от берега к центру озера). Пробы были высушены и подготовлены к анализам.

Было проведено три серии измерений:

1) Измерение гамма-активности (Cs-137, Ra-226, Th-232, K-40) образцов на спектрометре «Мультирад» в лаборатории кафедры Радиационной экологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ.

2) Измерение содержания 24 химических элементов методом оптико-эмиссионной спектроскопии в лаборатории МГУ ЛАБ. Также было определено содержание азота аммония, азота нитратов, содержание органического вещества (ОВ) (фотометрическим методом для образцов с долей ОВ менее 15 %, и гравиметрическим методом с долей ОВ более 15 %).

3) Измерение содержания 67 химических элементов методом плазменной масс-спектрометрии в лаборатории НИЦ Курчатовского института.

Общая характеристика проб: в центральной части озера (0-32 м) по направлению от берега к центру озера по обоим профилям наблюдается изменение типа донных отложений от песчаных к илистым, содержание воды увеличивается от 49 до 91 %. Значения pH меняются от 5,9 (глубина 2 м) до 4,9 (15 м). Изменение содержания органического вещества с глубиной:

1) 2 м: 1 %.

2) 5-8 м: 9-10 %.

3) 13-15 м: 26 %.

Залив характеризуется меньшими глубинами (0-5 м), значительным количеством растительных остатков (шишки, кора, ветки, листья и тп.) и наличием полностью органогенного слоя донных отложений (в середине залива). Содержание ОВ в органогенных образцах (1,5-4 м): 35-45 %. Содержание воды 91-99 %. pH 5,4-6,4. По содержанию в донных отложениях измеренные химические элементы можно разделить на 5 групп. Среднее содержание элемента в образцах (в порядке возрастания содержания):

1) 0-1 мг/кг: In, Re, Bi, Tm, Lu, Os, Rh, Ru, Tb, Tl, Be, Ho, Sb, Eu, Mo, W.

2) 1-8 мг/кг: Pd, Hg, Ir, U, Yb, Er, Au, Cs, Pt, Dy, Sm, Gd, Te, Cd, Ge, Pr, Se, Th, Sn, As, Co, Ga.

3) 13-85 мг/кг: Cu, Y, Ni, Ag, Li, Nd, Pb, La, B, Ta, Cr, V, Hf, Ce, Rb, Sc, Zn, Sr.

4) 230-600 мг/кг: Nb, Ba, Mn, P.

5) 1600-26000 мг/кг: Ti, S, Mg, Zr, Na, Ca, K, Fe, Al.

Погрешность измерений менялась от 1 до 50 % в зависимости от концентрации химического элемента. Средняя погрешность 13 %.

Содержание азота аммония в образцах изменялось от 8 до 298 млн⁻¹. Азота нитратов — от 3,5 до 38,1 млн⁻¹.

Гамма-активность радионуклидов:

1) Техногенных — Cs-137: 5-137 Бк/кг

2) Естественных — Th-232: 8-35 Бк/кг, Ra-226: 10-29 Бк/кг, K-40: 283-525 Бк/кг

Ввиду низких значений гамма-активности, погрешность измерений менялась от 23 до 92

%. Средняя погрешность составила 70 %.

Следует отметить существенные различия в размахе диапазона варьирования содержания химических элементов, чем, вероятно, может объясняться высокое среднее содержание редких элементов (содержание Zr меняется от 57 до 14700 мг/кг).

По величине размаха диапазона варьирования изучаемых показателей их можно разделить на 7 групп — см. рис. 1 (размах рассчитывался как отношение разницы между наибольшим и наименьшим значением к наименьшему значению показателя, выраженное в %):

- 1) Ниже порога обнаружения: Ru, Rh, Re, Os, Hg, Be, Se.
- 2) Размах 60-100 % (в порядке увеличения): Pd, Yb, Y, Er, Tm, Sm, B, Nd, Ho, Sr, Dy, La, Pr, Lu, Ba, K-40, Ce, Cd, U, Sc, Na, Eu, K.
- 3) Размах 100-200 %: In, Ir, Ge, Sb, Ti, Mo, Rb, Au, Ga, Th, Tl, Bi, Al, Ra-226, Co, Te, Ca, Cs, Pb.
- 4) Размах 300-400 %: Tb, Th-232, Sn, Mg, W, Li.
- 5) Размах 600-1000 %: Fe, Ni, Mn, V, Zn, Cr, Азот нитратов ($-\text{NH}_3$).
- 6) Размах 1000-7000 %: As, P, S, Cu, Cs-137, Pt, Азот аммония, доля орг. вещ., Cd.
- 7) Размах 11000-28000 %: Hf, Ta, Ag, Zr, Nb.

Содержание редких элементов с большим размахом диапазона варьирования достаточно высокое в пробах с большим содержанием ОБ и низкое в образцах с малым содержанием ОБ:

- Hf (доля ОБ 1 и 35 %): 3,67 и 207 мг/кг
- Ta (доля ОБ 1 и 35 %): 0,89 и 104 мг/кг
- Ag (доля ОБ 1 и 35 %): 0,99 и 83 мг/кг
- Zr (доля ОБ 1 и 35 %): 117 и 14700 мг/кг
- Nb (доля ОБ 1 и 35 %): 6,92 и 1057 мг/кг

Особенности распределения химических элементов в донных отложениях:

- С увеличением содержания илистой фракции увеличивается содержание Co, V, Li, Mg, Fe, Cd, Ni, Zn, Pb, As, Mr, S, Cu; увеличивается гамма-активность радионуклидов (Cs-137, Ra-226, Th-232).
- С увеличением содержания органического вещества увеличивается содержание Cd, Ni, Zn, As, Mr, S, P, Ca, Cr, Ag, азота аммония; снижается содержание Na, K, Ba.
- Отдельно выделяется образец органогенных донных отложений с содержанием ОБ 45 % — с повышенным содержанием Mo и азота нитратов (ниже порога обнаружения в других образцах) и значительно более высоким содержанием P и Cr; наблюдается пониженное содержание редких элементов Ga, Ge, Sc, Rb, Y, Zr, Nb, In, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta.

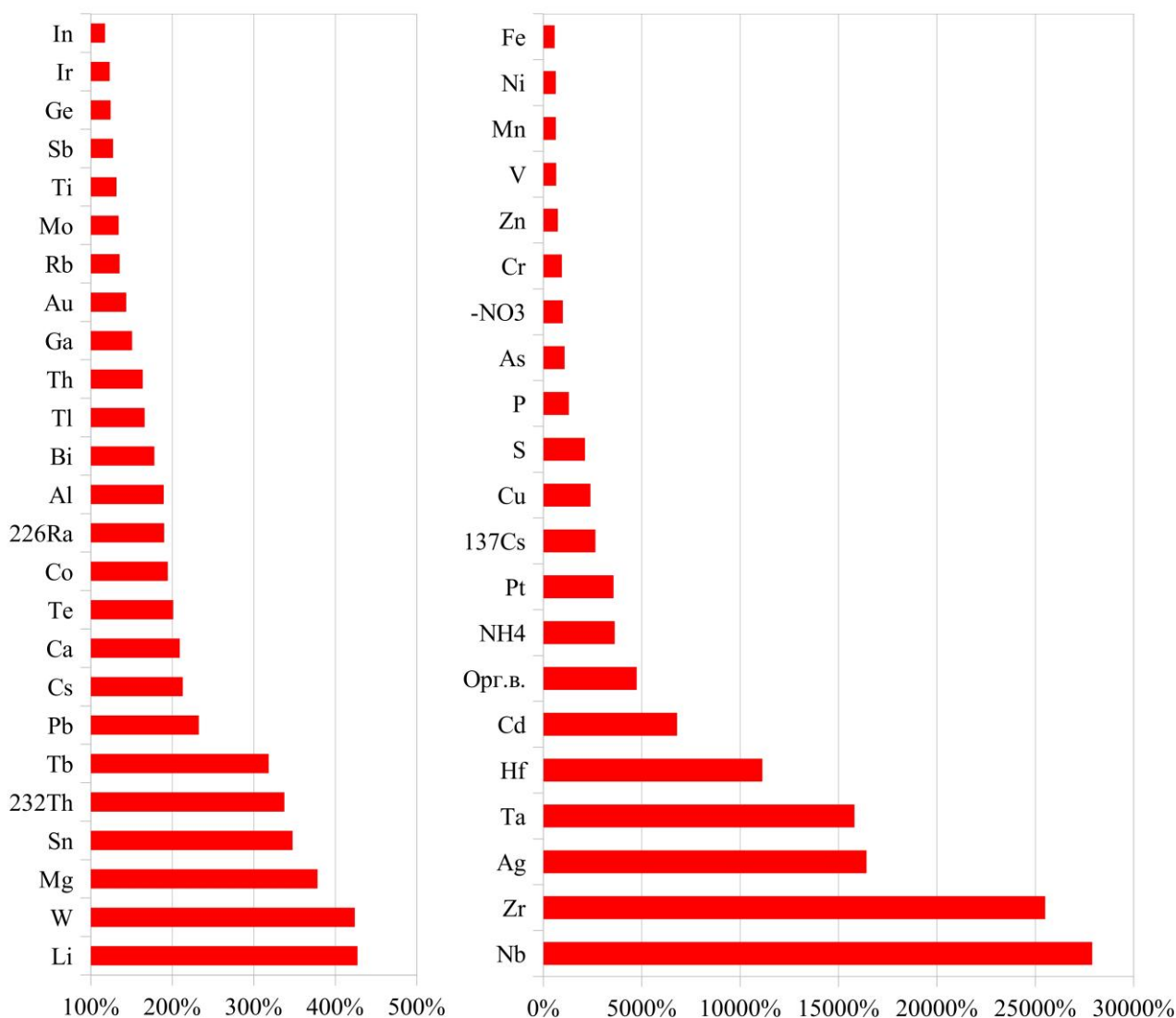


Рисунок 1. Размах диапазона варьирования изучаемых показателей

Полученные сведения могут быть использованы для:

- Оценки геохимического фона региона.
- Создания региональных экологических нормативов.
- Экологического мониторинга.
- Разработки мер по охране водоёмов.

Исследование планируется продолжить в направлении изучения закономерностей распределения тяжёлых металлов и радионуклидов в донных отложениях и других компонентов экосистемы (вода, гидробионты, почвы прибрежных территорий). Планируется расширение выборки исследования с целью построения картограмм распределения тяжёлых металлов и радионуклидов в 10-см слое донных отложений.

УДК 631.4

АКАДЕМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ Г.В. ДОБРОВОЛЬСКОГО В НАУЧНОМ СОВЕТЕ РАН ПО ИЗУЧЕНИЮ И ОХРАНЕ КУЛЬТУРНОГО И ПРИРОДНОГО НАСЛЕДИЯ
Зубкова Т.А.

МГУ имени М.В.Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, e-mail: dusy.taz@mail.ru

Академик Глеб Всеволодович Добровольский много лет проработал сопредседателем Научного совета РАН по изучению и охране культурного и природного наследия. Совет

был учрежден в 1992 году по инициативе академиков Е.П. Челышева и В.Е. Соколова, но в 1998 году с приходом Г.В. Добровольского началось вовлечение почвоведов в работу Научного совета, среди них профессор МГУ имени М.В. Ломоносова Л.О. Карпачевский, доктора биологических наук: Т.А. Зубкова, Г.Г. Козменко, Ю.Н. Ашинов, Н.О. Ковалева, И.В. Ковалев и многие другие. Цель Совета – изучение культурного и природного наследия сквозь призму культурно-природного синтеза. Основной задачей является осуществление консультативных и информационных функций с целью создания целостной научной концепции сохранения и изучения культурного и природного наследия, участие в разработке и проведении научно-практических мероприятий, формирование в гражданском сознании уважительного и бережного отношения к культурному и природному наследию. Деятельность Научного совета РАН регулярно освещалась в научно- аналитическом журнале «Пространство и Время» и научно-образовательном «Альманах Пространство и Время» при непосредственном участии главного редактора, к.п.н., политолога О.Н. Тыняновой. В своей работе Совет руководствовался принципом неделимости культурного и природного наследия: сохранение среды обитания органически связано с задачами защиты культуры от разрушения и деградации, с воспитанием в человеке ответственности за состояние духовной и природной среды. В трудах Совета подчеркивалось, что для преодоления истощения ресурсов биосферы необходимо активизировать весь потенциал культуры, раскрыть и донести до людей культурную значимость природы, ее этическую и эстетическую ценность. Никогда до этого так четко и определенно не ставились задачи рассмотрения и выявления связей природной среды, включая и почвы, с культурой и духовным миром человека.

В 21 тысячелетии, на новом этапе развития российского государства крайне важной остается задача донести до общественности мысль, что подрыв культурного фонда нации так же губителен для нее, как и вторжение в генофонд любой популяции, что культурное наследие образует своего рода защитный слой, предохраняющий человека от духовного опустошения и одичания. Сейчас это актуально как никогда: растущее загрязнение почв, господствующие тенденции и принципы модернизации производства, городская политика, в процессе реализации которой гибнут исторические и культурные раритеты, особенности быстро развивающегося и зачастую варварского туризма поставили под угрозу нашу культурную и природную среду. В связи с быстрым нарастанием антропогенного загрязнения природной среды, сокращением площадей лесов и эрозией почвенного покрова на рубеже XX и XXI вв. возникла угроза глобального экологического кризиса, поэтому Научный совет считал актуальным разработку стратегии оптимальных взаимоотношений человека и природы. В этом смысле одной из самых необходимых и важных научных дисциплин XXI в. становится экология, в том числе экологические функции почв. Насущным для человечества является сохранение биологического разнообразия, сформировавшегося на Земле в течение многих миллионов лет и ныне быстро и необратимо сокращающегося под давлением разрушительной хозяйственной и военной деятельности человека. Россия обладает самыми богатыми в мире водными и болотными угодьями. На территории России сосредоточено основное видовое разнообразие Северной Евразии – крупнейшего региона планеты. У нас больше 50% лучших в мире черноземных почв. Расположенные на территории России природные экосистемы представляют исключительную ценность для биосферы, выполняя важнейшие регуляторные функции. Здесь находятся уникальные природные комплексы, объекты, природного и культурного наследия ЮНЕСКО и центры эндемизма: озеро Байкал, Алтай, Западный Кавказ, девственные леса Коми, Куршская коса, вулканы Камчатки, юг

Дальнего Востока, дельта Волги, Каспийское море, плато Путорана и др. В почвенном покрове Земли обитает более 90% генетического разнообразия видов растений и животных, известных в настоящее время. Между тем в результате неконтролируемого землепользования человечество за свою историю потеряло более 2 млрд. га некогда плодородных почв, что превышает всю площадь современного земледелия. Процесс деградации почв неумолимо нарастает. Анализ почвенного покрова заповедников и других охраняемых территорий России показал неудовлетворительное их состояние. В этой связи Г.В. Добровольский предложил проводить постоянно действующий семинар «Почвы и социум» (РАН, Москва). Особое внимание уделялось роли почв и земель в формировании социальной структуры общества, факторам успешного развития, занятости, доходности и здоровью населения. Такой подход способствовал расширению представлений о роли почвы и почвенного покрова в жизни человека и выходу за рамки традиционного восприятия почвы как объекта земледелия, а также установлению связей с различными социально-гуманитарными науками. Продолжение исследований о роли почв в социоэкономической и культурной сферах общества нашло отражение в многочисленных диссертационных работах: Макаров О.М., Ашинов Ю.Н., Козменко Г.Г., Рагимов А.Н., Сивухин А.Н., Схашок (Адыгея) и др..

В сегодняшнем индустриальном мире обнаруживаются все большие изъяны и перегибы, представляющие реальную угрозу существования человечества. Технократическое мышление посягает не только на природу, но и на человеческий дух. В этих условиях важнейшей задачей Совета является выявление реальной роли культурного и природного наследия в жизни современного российского общества, обобщение отечественного и зарубежного опыта в этой области, побуждение гуманитариев и естествоиспытателей объединить свои усилия для решения наиболее актуальных проблем бытия, сообразуясь с принципами природно-культурного синтеза.

Взаимодействие гуманитариев и естествоиспытателей приобретает особую значимость в отношениях между церковными властями и музеями (а также археологами, пополняющими музеи и историческую науку новыми открытиями). В этих условиях необходима активность Научного Совета РАН по преодолению ситуации, когда утрата многих ценнейших памятников природы и культуры становится необратимой. Совет считает принципиальным возвращение к долгие годы остававшейся утраченной связи научного знания с религиозными духовными и нравственными ценностями, и здесь особенно важна координация усилий (как с церковной, так и со светской стороны) по исследованию комплекса проблем, связанных с генезисом естествознания в Новое и Новейшее время и влиянием христианства на становление и развитие мировой науки в третьем тысячелетии. Примером такого рода сотрудничества была состоявшаяся в 2010 году конференция на факультете почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова по Рыбинскому водохранилищу, в которой рассматривались проблемы Мологского края, возникшие после строительства водохранилища в 1941 году. Организована она была по инициативе профессоров Московского университета Г.В. Добровольского и Л.О. Карпачевского, а также профессора Государственного университета по землеустройству С. П. Замана. Участвовали специалисты гуманитарных и естественных наук: историки, географы, почвоведы, социологи, политологи, психологи и священнослужители. Важность затронутого вопроса отразили в своих выступлениях епископ Рыбинский и Романово-Борисоглебский Вениамин, настоятель Никитского монастыря в Переславле-Залесском архимандрит Димитрий и многие другие. Эта конференция показала актуальность рассматриваемых вопросов о состоянии природной среды для различных слоев населения, и связующим звеном выступили почвоведы.

Многие годы Совет издавал научно-популярную серию «Природное и культурное наследие Москвы», в которой вышло более 100 книг и брошюр. Среди них брошюры по природным объектам Москвы: «Зеленая книга Москвы», «Главный ботанический сад», «Почвы Москвы» и др.; по культурному наследию – «Музыкальная Москва», «Музы и пушки», «Московская Африка» и др. Краеведческие брошюры, составляющие большинство из этой серии, иллюстрируют симбиоз природы и архитектуры на территории усадеб и городских районов: Уборы, Алтуфьево, Середниково, Горки, Петрово, Фили, Серебряные переулки и др.. Примечательно, что некоторые брошюры написаны сотрудниками факультета почвоведения МГУ: Т.В. Прокофьева, М.Н. Строганова, «Почвы Москвы» (2004), Н.Д. Звягинцев, Л.О. Карпачевский «Памятники ученым в культуре Москвы» (2004).

Следует подчеркнуть, что уже на рубеже 1990-х–2000-х гг. в деятельности Совета наметилась все более отчетливо проявляющаяся тенденция к изучению культурного и природного наследия сквозь призму культурно-природного синтеза и осмысления в этой связи цивилизационного пути России. К 2008 г. четко определилось основное направление деятельности Совета – разработка фундаментального обобщающего трехтомного труда «Цивилизационный путь России» на основе концепции единства природного и культурного наследия как формы культурно-природного синтеза. В этой связи следует особо отметить конференцию «Проблемы культурно-природного синтеза», приуроченную к 15-летию деятельности Совета, в которой приняли участие представители всех комиссий Совета, а также ученые других научных организаций и вузов России. Данная конференция и изданный по ее итогам сборник явились своего рода подведением предварительных итогов работы над монографией «Цивилизационный путь России».

В условиях, когда наука, в том числе о культуре и природе, становится все более диверсифицированной, и одновременно, специализированной, когда над разрешением теоретических и прикладных задач работают целые коллективы высокопрофессиональных ученых, все большее значение приобретает диалог между представителями различных исследовательских направлений, способствующий плодотворному синтезу гуманитарных и естественнонаучных знаний и ценностей. Именно поэтому Совет в своей деятельности ориентируется, прежде всего на междисциплинарные исследования, на выявление новых, порой нетрадиционных тем и методов научного познания, на решение тех проблем, которые по тем или иным причинам оказались вне сферы внимания научного сообщества. Организуя конференции, круглые столы и симпозиумы, публикуя их материалы, Совет нацелен на координацию научной работы в разных отраслях знания, на плодотворное сотрудничество представителей разных научных профессий. В сознании ближних и дальних соседей, в мире в целом формируются разные образы России и ее культуры. Требуется значительные усилия по развитию культурных и научных связей и постоянная работа по созданию позитивного имиджа России.

Научный совет РАН уделяет особое внимание изучению роли искусства в духовной жизни общества и изучению возможностей, форм, средств воздействия искусства на жизнь, ведь будущее России связано не только с ее богатейшими, природными богатствами (а их надо сохранить!), но и с ее огромным культурным, интеллектуальным, духовным потенциалом, имеющим мировое признание и нуждающимся во всемерной поддержке и развитии. Новый импульс в продолжении и развитии начинаний Г.В. Добровольского и Л.О. Карпачевского, сообразуясь с принципами природно-культурного синтеза, получили исследования Т.А. Зубковой о роли почв и почвенного покрова в формировании образа Родины, экологического сознания, развития темы «Урожай в почве и урожай в искусстве».

Показано, как искусство с экологической направленностью может помочь человечеству выжить на планете Земля в условиях истощения природных и минеральных ресурсов. Г.В. Добровольский проработал 17 лет сопредседателем Научного совета РАН по изучению и охране культурного и природного наследия и способствовал развитию междисциплинарного направления «Почвы и социум». По его инициативе и при активном участии был создан постоянно действующий научный семинар с одноименным названием, проведена конференция, подводящая итог 15-летней работы Научного совета РАН, конференция по Рыбинскому водохранилищу с участием представителей православного духовенства, историков, географов, геологов и почвоведов. При поддержке Г.В. Добровольского защищены 4 докторские диссертации в рамках проблем, связывающих почвы и социум. Тем не менее, многие направления работы Научного совета РАН по изучению и охране культурного и природного наследия ждут своего продолжения. Исследование выполнено в рамках госзадания МГУ имени М. В. Ломоносова.

УДК 631.6.02

РОЛЬ ВНУТРИБАСЕЙНОВОЙ АККУМУЛЯЦИИ ПРОДУКТОВ ЭРОЗИИ ПОЧВ В ДЕПОНИРОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (НА ПРИМЕРЕ «ПЛАВСКОГО ЦЕЗИЕВОГО ПЯТНА») ²

Иванова Н.Н.¹, Голосов В.Н.^{1,2}, Иванов М.М.^{1,2}

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail nadine_iv@mail.ru;

² Институт географии РАН, Москва

Одной из важнейших экологических и социальных проблем является поступление в окружающую среду загрязняющих веществ различного происхождения. Почва способна поглощать и удерживать разнообразные поллютанты, поступающие на ее поверхность, в том числе радионуклиды.

Долгоживущий изотоп искусственного происхождения ¹³⁷Cs, появление которого в окружающей среде явилось следствием испытаний ядерного оружия в открытой атмосфере в начале 50-х годов XX века, представляет собой один из сорбируемых почвой радиоактивных загрязнителей. Этот радионуклид также присутствует в радиоактивных выбросах в результате аварийных ситуаций на объектах атомной энергетики, в том числе на Чернобыльской АЭС в 1986 г. и на Фукусиме в 2011 г.

Техногенный ¹³⁷Cs сразу после попадания на земную поверхность быстро и прочно сорбируется преимущественно за счет связывания с глинистыми минералами и органическим веществом почвы. Дальнейшая миграция изотопа определяется основными агентами перемещения твердофазного вещества почвы. В агроландшафтах равнин умеренного пояса латеральное перераспределение почвенно-грунтовых частиц и сопутствующих им загрязнителей в основном происходит благодаря развитию процессов водной эрозии почв.

Свойство радиоцезия сорбироваться почвой сделало его надежным маркером при исследовании процессов мобилизации, транспорта и переотложения почвенно-грунтовых частиц, а также формирования речного стока наносов. Однако не стоит забывать, что ¹³⁷Cs также является одним из основных дозообразующих радионуклидов в дальней зоне чернобыльского загрязнения.

За прошедшие с момента Чернобыльской аварии почти 40 лет уровни плотности загрязнения в районах атмосферных выпадений в среднем должны были снизиться более чем вдвое в связи с естественным распадом (период полураспада для изотопа ¹³⁷Cs составляет 30,2 года). Однако в агроландшафтах с активным проявлением эрозионно-аккумулятивных процессов такое утверждение справедливо только для

² Результаты получены при финансовой поддержке научного проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2025-008 от 27 февраля 2025 г.

геоморфологически стабильных позиций, где отсутствует поступление или вынос почвенного материала. Смыв почвы на распаханых склонах, транспорт и переотложение продуктов эрозии привели к существенным изменениям начального поля загрязнения и формированию ареалов вторичного загрязнения за счет накопления несущих поллютанты наносов. Продукты смыва, мобилизованные процессами эрозии на распаханых склонах водосборов, частично переоткладываются на нижележащих гипсометрических позициях рельефа и далее поступают в поверхностные водоемы и водотоки. Вследствие специфики проявления эрозионно-аккумулятивных процессов темпы перемещения почвенно-грунтовых частиц, объемы накопившегося материала, степень его загрязнения радионуклидами и пространственная локализация зон аккумуляции имеют свои особенности в различных звеньях эрозионно-русловых систем. Исследование пространственно-временных закономерностей перераспределения продуктов смыва почвы и сопутствующих им загрязнителей необходимо как для оценки опасности поступления радионуклидов в поверхностные водотоки и водоемы, так и для планирования хозяйственной деятельности на загрязненных территориях.

Одним из наиболее загрязненных чернобыльскими выпадениями регионов РФ является Тульская область. Исследования процессов мобилизации, транспорта и переотложения загрязненных радиоцезием продуктов эрозии почв в различных звеньях эрозионно-русловых систем более 30 лет проводятся в бассейне р. Плавы. Бассейн р. Плавы площадью около 1890 км² расположен в северной части Среднерусской возвышенности в пределах Тульской области и относится к бассейну р. Упы (правый приток р. Оки). Годовой слой осадков составляет около 630 мм, из них в теплое время года в среднем выпадает порядка 460 мм. Почвенный покров в пределах междуречных пространств представлен черноземами выщелоченными и оподзоленными, а также темно-серыми лесными почвами. Почвы имеют тяжелосуглинистый гранулометрический состав, содержание фракции ила составляет более 50%. Основной почвообразующей породой являются карбонатные лессовидные суглинки. Рельеф характеризуется наличием плоско-выпуклых междуречных поверхностей с относительно пологими выпуклыми в продольном профиле склонами длиной до нескольких сотен метров. В начале 1980-х гг. плотность загрязнения ¹³⁷Cs бассейна р. Плавы не превышала 0.2 Ки/км². После аварии на ЧАЭС в апреле 1986 г. в результате атмосферных выпадений возникло так называемое «Плавское радиоактивное пятно» с уровнем загрязнения в его центральной части до 15 Ки/км².

В склоновом нерусловом звене переотложение продуктов плоскостного смыва происходит в основном на рубежах аккумуляции антропогенного происхождения, наиболее значительными ареалами накопления загрязненного почвенно-грунтового материала являются подножия распаханых склонов перед валами напашей, оконтуривающих нижние границы полей. Напаше служат не только механическим препятствием для наносов, но и важным геохимическим барьером на пути миграции радионуклидов. Среднемноголетние темпы смыва на пашне в бассейне р. Плавы за постчернобыльский период составляют около 6 т/га в год. Исследования на одном из малых водосборов в бассейне р. Локны (левый приток р. Плавы) показали, что после аварии на ЧАЭС перед валами напашей было переотложено 10-15% продуктов плоскостного смыва с вышележащих распаханых склонов. Напаше не являются препятствием для концентрированного стока, вынос продуктов эрозии за пределы распахиваемых склонов осуществляется в основном локально по системе склоновых ложбин, концентрирующих сток и прорезающих нижнюю границу пашни в понижениях рельефа. На участках задернованных бортов балки, где не происходит столь сильной концентрации стока, аккумуляция продуктов эрозии, поступающих с распаханых склонов, происходит преимущественно за счет эпизодических локальных переливов через напашь. Мощность слоя, аккумулированного на таких участках за послечернобыльский период, оказалась сравнительно небольшой – в среднем чуть менее 6 см, что свидетельствует об отсутствии

катастрофических эпизодов смыва за постчернобыльский период. Если в будущем не будут изменяться границы полей, основной сток наносов продолжит поступать по системе склоновых ложбин непосредственно в днища сухих долин 1 порядка. Однако последовательная аккумуляция продуктов эрозии у подножия распаханного склона приведет к нивелированию вала напаша, увеличению темпов переотложения продуктов смыва на задернованных бортах балки и снижению доли материала, который может попадать во временные водотоки в верхних звеньях флювиальной сети и далее в постоянные водотоки.

Проведенные разными методами оценки баланса почвенно-грунтового материала в бассейне Плавы показали, что доля продуктов эрозии почв, переотложенных в пределах распаханых склонов междуречий и задернованных бортов малых долин 1 порядка составляет 35-38%. 0

Днища сухих долин (балок), на долю которых приходится основная протяженность долинной сети бассейна р. Плавы, являются основными участками переотложения наносов, выносимых временными потоками с распахиваемых склонов. При этом интенсивность переотложения зависит преимущественно от уклона днища, а также от наличия или отсутствия донного вреза. Согласно оценке, произведенной для бассейна р. Плавы за период 1986-2009 гг., около 60% наносов, смытых с обрабатываемых склонов, не покидает пределы водосборов 1-3-го Хортон-порядка. Основным источником поступления материала в днища речных долин бассейна р. Плавы являются водосборы непосредственно впадающих в них малых долин 1-2 порядка. Днища сухих долин водосборов более высоких порядков выступают в роли накопителей наносов.

Рост суммарных запасов ^{137}Cs на аккумулятивных позициях способен компенсировать потери от радиоактивного распада, хотя при этом слои с высоким содержанием радионуклида перекрываются наносами с все более и более низкими концентрациями загрязнителя, поступающими с пашни. Это происходит вследствие активного проявления процессов эрозии на распаханых склонах, когда при неизменной глубине вспашки в пахотный горизонт ежегодно включается нижележащий «чистый» почвенный материал. Суммарная аккумуляция в сухих долинах бассейна р. Плав за пост-чернобыльский период составила 27-38% от общего объема смытого с распаханых склонов материала. В речные долины бассейна поступило 23-35%, из которых 10-11% переотложено на разных уровнях поймы. Таким образом, в русловую сеть попадает от 13 до 25% продуктов смыва на водосборе.

Таким образом, в настоящее время основная часть смытого с пашни обогащенного изотопом цезия материала переотлагается у подножия распаханых склонов выше границы пашни, где формируется ареал с плотностью загрязнения в 3-4 раза выше фоновой в пределах освоенных участков междуречий. В случае изменения землепользования (например, увеличения площади пашни за счет присетевых участков склонов) весь объем накопленных цезийсодержащих наносов способен за достаточно короткий отрезок времени достичь днищ малых сухих долин 1 порядка. В настоящее время в днищах малых сухих долин в бассейне Плав преимущественно происходит аккумуляция загрязненных ^{137}Cs наносов. *Изменения характеристик поверхностного стока вследствие климатических колебаний могут привести к их залповому выносу в принимающую реку в результате увеличения числа экстремальных эрозионных событий.* В связи с отсутствием в последние десятилетия значительного поступления наносов с водосбора плотность загрязнения на поверхности пойменно-террасового комплекса (исключая низкую пойму) в верхнем и среднем течении Плав изменяется в основном в соответствии с положением относительно границ ареалов чернобыльских выпадений. Наиболее активно трансформация исходного поля загрязнения происходит на уровне низкой поймы. В верхнем и среднем течении Плав здесь прослеживается тенденция к увеличению общего запаса ^{137}Cs в пойменных отложениях за счет его вторичной аккумуляции, а также к снижению концентрации изотопа в поверхностных слоях

вследствие отложения все менее активных наносов. В нижнем течении Плавы и на пойме принимающей реки (Упы) формируется ареал вторичного загрязнения радиоцезием с плотностью, значительно (в 4–8 раз) превышающей значения уровня загрязнения за пределами пойменных участков.

Результаты наших оценок баланса наносов двумя независимыми методами показали, что в приемный водоток р. Упу во взвешенном состоянии со смытым с поверхности водосбора р. Плавы почвенно-грунтовым материалом было вынесено не более 0.8% от исходных выпадений ^{137}Cs в апреле-мае 1986 г. Таким образом, подавляющая часть радиоцезия черномыльских выпадений депонирована в почвенном покрове бассейна Плавы – на поверхности целинных и в пахотном горизонте обрабатываемых интритных почв, а также в ареалах накопления переотложенных продуктов в различных звеньях эрозионно-русловых систем.

УДК 631.46

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНОГО ФАКТОРА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОЧВ

Калинин А.В., Сидорова Е.Н.

Университет науки и технологий МИСИС, Москва, artemkalinin36@gmail.com

Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (XRF) является оперативным методом элементного анализа геоматериалов и почвенных образцов, широко применяемым для контроля техногенного загрязнения и изучения элементного состава. При этом на точность количественного анализа оказывают влияние матричные эффекты, в частности гранулометрический и размерный факторы. Данные эффекты влияют на интенсивность вторичного характеристического излучения, фиксируемого детекторами приборов. Корректный учёт этих влияний важен для экологического почвоведения, где малые систематические смещения могут приводить к некорректной интерпретации распределения и расчета составов элементов в профиле и по ландшафту.

Цель работы: экспериментальная оценка влияния размерного фактора на результаты количественного XRF анализа многокомпонентной порошковой системы на модели бинарных оксидов никеля и меди. Исследовались две серии спрессованных таблеток (масса навески 1 г): микропорошки NiO/CuO и нанопорошки NiO/CuO с идентичной линейкой составов (мас. % NiO/CuO: 0/100; 10/90; 20/80; 30/70; 40/60; 50/50; 60/40; 70/30; 80/20; 90/10; 100/0). Измерения выполнены на микрозонд-микроскопе РАМ-30μ; для каждого образца регистрировались 10 областей съёмки с последующим усреднением по концентрациям и интенсивностям характеристических линий. Количественные оценки получены по безэталоной схеме на основе фундаментальных параметров. Для интерпретации использованы сопоставления «измерено против задано» по Cu и Ni и зависимости интенсивности от массовой доли элементов (таблица 1).

По совокупности данных отмечены две устойчивые особенности. Во-первых, для обеих серий на крайних составах (преобладание одного компонента) разброс интенсивностей снижается, что соответствует более стабильному отклику. Во-вторых, в среднеконцентрационной области, особенно 40 – 60 мас. % (по Cu/Ni), наблюдаются выраженные расхождения между заданными и измеренными значениями: для системы микропорошков определяется тенденция к завышению массовой доли Cu относительно номинала, тогда как для системы с нанопорошками – к занижению. Эта картина согласована с различиями в поведении интенсивностей характеристических линий: при 10 – 60 мас. % микропорошки демонстрируют более высокие средние интенсивности по сравнению с нанопорошками, тогда как на высоких содержаниях различия нивелируются. Полученные наблюдения интерпретируются в рамках влияния дисперсности на эффективную плотность упаковки, пористость и микрогеометрию прохождения первичного/вторичного излучения, что изменяет эффективную толщину возбуждаемого слоя и долю рассеяния. В результате для наноформ сильнее проявляется «ослабляющий»

эффект – систематическое смещение количественных оценок в сторону занижения по элементу с меньшей эффективной толщиной возбуждения. Поскольку в практике почвенного анализа встречается широкий диапазон гранулометрических фракций и гетерогенность матрицы, показанный эффект имеет прикладное значение для разработки методик подготовки (измельчение/пеллетирование) и калибровки.

С практической точки зрения результаты требуют отдельных калибровок для материалов с различной дисперсностью, обязательного контроля гранулометрии и плотности при подготовке пресс-образцов и учета рассеятельных признаков (Rayleigh/Compton) либо иных параметров, отражающих эффективную толщину, при построении градуировок. Для задач экологического почвоведения (экспресс-скрининг, трассировка источников техногенных элементов, мониторинг) это снижает риск систематических смещений при сравнении образцов с различной текстурой и степенью агрегирования, повышая воспроизводимость картирования и корректность интерпретаций.

Таким образом, размерный фактор частиц статистически значимо влияет на результаты количественного XRF анализа многокомпонентных порошков в бинарной системе NiO–CuO. Учёт дисперсности при калибровке и стандартизации подготовки образцов представляется необходимым условием для надёжной аналитики почвенных и родственных геоматериалов.

Таблица 1 – Сводные значения: заданные и измеренные массовые доли Cu и Ni (микро- и нанопорошки); усреднение по 10 областям съёмки.

Никель				Медь			
Крупные порошки, массовых долей, %		Нанодисперсные порошки, массовых долей, %		Крупные порошки, массовых долей, %		Нанодисперсные порошки, массовых долей, %	
Заданная	Измеренная	Заданная	Измеренная	Заданная	Измеренная	Заданная	Измеренная
0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00
9,85	10,72	9,85	8,05	90,15	89,28	90,15	91,95
19,74	21,28	19,74	15,81	80,26	78,72	80,26	84,19
29,65	31,47	29,65	24,59	70,35	68,53	70,35	75,41
39,60	44,09	39,60	33,81	60,40	55,91	60,40	66,18
49,59	50,01	49,59	44,22	50,41	49,99	50,41	55,78
59,60	59,64	59,60	53,55	40,40	40,36	40,40	46,45
69,65	66,70	69,65	64,90	30,35	33,30	30,35	35,10
79,73	76,57	79,73	76,40	20,27	23,43	20,27	23,59
89,85	86,43	89,85	86,72	10,15	13,57	10,15	13,28
100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ РАЗНОНАПРАВЛЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА И ЮГА РУССКОЙ РАВНИНЫ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

Калинин П.И.¹, Трифонов В.А.², Шишлина Н.И.³, Занина О.Г.¹, Панин П.Г.⁴, Митенко Г.В.¹, Кудреватых И.Ю.¹

¹Институт Физико-Химических и Биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, kalinin331@rambler.ru;

²Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург, viktor_trifonov@mail.ru;

³Государственный Исторический Музей, Москва, nshishlina@mail.ru;

⁴Институт Географии РАН, Москва, pgpanin@igras.ru

Изменение климата в голоцене (прибл. 5500-4000 л. н.) было причиной разнонаправленной эволюции почвенного покрова на Северо-Западном Кавказе и юге Русской равнины. Данные палеопочвенных исследований курганов эпохи Бронзы в предгорьях Северо-Западного Кавказа указывают на эволюцию почв в сторону более влажных типов, при которой черноземы разной степени выщелоченности трансформировались в серые лесные почвы. В то же время анализ палеопочв сухостепной зоны Русской равнины этого времени указывает на преобразование темно-каштановых, каштановых, светло-каштановых почв и солонцов в каштановидные полупустынные почвы. Таким образом, полученные на сегодняшний день данные о закономерностях голоценовой динамики климата и почвенно-растительного покрова в сопредельных регионах юга России носят неоднозначный и даже противоречивый характер.

Целью исследования был анализ ландшафтных и почвенных изменений на юге Русской равнины и предгорьях Северо-Западного Кавказа с помощью методов геохимии, палинологии и фитолитного анализа, а также оценка сдвига природных зон предгорий Кавказа в голоцене на основе расчета индекса аридности. Объектом исследования были голоценовые палеопочвы, погребенные под насыпями курганов, расположенные на территории Северо-Западного Кавказа (респ. Адыгея, ст. Новосвободная) и юге Русской равнины (респ. Калмыкия, Волгоградская область).

Морфология, физико-химические свойства и данные палеоботанического анализа палеопочв, погребенных под насыпью курганов майкопской культуры у станицы Новосвободная возрастом 3300 - 2900 лет до н.э. указывают на существование в предгорьях Северо-Западного Кавказа в это время чернозёмов под луговой и лугово-степной растительностью. Но уже на момент сооружения курганов в черноземах начали проявляться признаки деградации, заключающиеся в развитии элювиальных (лессиваж, выщелачивание) и гидроморфных (ожелезнение и оглеение) процессов. Сопоставление палеопочвенных реконструкций с данными из палеоархивов озерных отложений среднегорья говорят о том, что за 1500 лет в результате похолодания граница зоны широколиственных лесов сместилась вниз более чем на 500 м, а ареал степи сократился более чем в 3 раза. В результате черноземы деградировали в серые лесные почвы со вторым гумусовым горизонтом. Подобной по своему масштабу перестройки ландшафтов не отмечается ни в горных районах Кавказа, ни в сопредельной степи. Предгорья Северо-Западного Кавказа (100-1100 м) были чрезвычайно чувствительны к изменению климата из-за наличия здесь границы между лесом и степью. Экспансия леса послужила спусковым механизмом изменения почвенных свойств с уже необратимыми последствиями, приведя к формированию новой высотной зональности и трансформации почв на уровне типа. Это коренным образом изменило ландшафт территории и повлияло на жизнь и хозяйственную деятельность местного населения.

Изменения климата на Кавказе и юге Русской равнины в среднем голоцене были вызваны климатическим “событием 4,2”. Экспансия Сибирского антициклона на запад в это время привела к снижению среднего годового количества осадков на юге Русской равнины, вызвав эрозию, засоление, дегумификацию почв и ксерофитизацию растительных

сообществ. Но в отличие от юга Русской равнины, основным триггером климатических изменений на Северо-Западном Кавказе стали не осадки, а температура. Близость Черного моря на протяжении всего голоцена способствовала поступлению влаги на Северо-Западный Кавказ, поэтому именно снижение температуры привело к увеличению площади ледников и сдвигу границ природных зон на север, где на смену относительно сухим и открытым лугово-степным ландшафтам пришли более влажные лесные. Полученные результаты показывают, что теории эволюции почв Северо-Западного Кавказа и юга Русской равнины не противоречат друг другу. Разнонаправленность процессов почвообразования вызвана тем, что “событие 4,2” по-разному влияло на Северо-Западного Кавказ и сопредельные регионы из-за их особого геоморфологического положения и близости Черного моря. Это согласуется с последними данными о том, что засуха и увлажнение в равной мере представляют собой гидроклиматические характеристики “события 4,2”.

Исследования проводились при поддержке Российского Научного Фонда (грант 25-28-00585).

УДК 631.4.432.2–3

КОНКРЕЦИОГЕНЕЗ В ПОЧВАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ

Ковалев И.В.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, Россия, kovalevmsu@mail.ru

Познание механизма элементарного почвообразовательного процесса конкрециообразования невозможно без выяснения генезиса и свойств содержащегося в новообразованиях органического вещества несмотря на то, что генезису Fe-Mn новообразований посвящена обширная литература. При этом обычно обсуждаются два типа механизмов ортштейнообразования: 1) хемогенный и 2) прямой или опосредованный биогенный. Несмотря на то, что предпочтение отдается биогенному пути образования конкреций и даже выделился новый раздел почвоведения – биоминералогия – для изучения подобных почвенных объектов, исследования, содержащие характеристику органического вещества ортштейнов, единичны и ограничиваются работами Г.В. Добровольского и Т.В. Терешинной (1976), И.В. Ковалева и Н.О. Ковалевой (2003, 2008, 2011, 2023, 2024). Экспериментальных данных о составе и свойствах органических соединений новообразований явно недостаточно. Также остаются открытыми вопросы о роли и генезисе органического вещества в ортштейнах, времени и скорости его трансформации при разных температуре и влажности. Остается неизвестным генезис крупных вытянутых овальных конкреций и др.

Дан анализ механизмов образования конкреций в почвах периодического переувлажнения. На примере серых лесных почв показано влияние гидрологического и ОВП режимов на степень гидроморфизма почв, морфологические, химические и минералогические особенности конкреций. Показан микробный пул в почвах и конкрециях в годы разной влажности. Установлено, что содержание ортштейнов и их фракционный состав в почвах естественного увлажнения имеет близкие или тождественные значения на протяжении более 30 лет наблюдений независимо от года обеспеченности осадками и характера сельскохозяйственного использования. Такая закономерность обнаружена и для биофильных элементов. Раскрыты особенности органического вещества в ортштейнах. Установлено, что железисто-марганцевые конкреции аккумулируют и углерод, азот, фосфор, а также лигнин, изымая их из биологического круговорота. Независимо от степени гидроморфизма серых лесных почв количество лигнинных продуктов в ортштейнах в 10 раз меньше, чем в мелкоземе

вмещающего горизонта. С увеличением размера ортштейнов количество продуктов окисления лигнина в них уменьшается за счет минерализации. В ортштейнах гидроморфных почв преобладают фенольные кислоты над альдегидами. Молекулы гумусовых кислот Fe-Mn-конкреций имеют в два раза большую ароматичность, по сравнению с гумусовыми кислотами почв. Однако, и количество карбоксильных структур в гуминовых кислотах ортштейнов в два раза выше, чем в гумусе почв, соответственно 21,7 и 50,9 %. Возможно, именно эти фрагменты молекул и повышают долю фульвокислот в групповом составе гумуса ортштейнов по данным группового и фракционного состава гумуса: Сгк/Сфк в почве – 1,02 и 0,35 в ортштейнах.

Ортштейны из серой лесной почвы Московской области изучены методами компьютерной микротомографии, биохимического анализа, метагеномного секвенирования. В железисто-марганцевых конкрециях выполнено определение состава стабильных и радиоактивных изотопов углерода. Впервые показано, что возраст ортштейнов светло-серых лесных почв, сформированных на покровных бескарбонатных лессовидных тяжелосуглинистых почвообразующих породах, превышает 1600 тыс. лет. В то же время изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) разных фракций конкреций обнаруживает в них остатки современных видов растений (от $-26,3$ до $-27,4\%$) и подтверждает ведущую роль лигнина древесных пород в формировании новообразований. Более того, композиционные соотношения лигниновых фенолов остаются близкими как в почвах, так и в ортштейнах. Видовой состав микроорганизмов различается в разных фракциях ортштейнов, утяжеляет изотопный состав мелких фракций и изменяется по мере усиления гидроморфизма почв. Результаты растровой электронной микроскопии обнаруживают в составе конкреций наличие бактерий и гифы грибов. Прямое определение биомассы бактерий и грибного мицелия в конкреционных новообразованиях свидетельствует о том, что численность бактерий составляет около 0,3 млрд клеток/г ортштейнов в почвах с естественным водным режимом, длина грибного мицелия – 48 м/г ортштейнов. При усилении степени гидроморфизма, несмотря на увеличение количества ортштейнов в 10 раз, величины численности бактерий и длина грибного мицелия остаются постоянными. При этом грибы в целом преобладают в составе ортштейнов и составляют 55–92% от общей биомассы микроорганизмов, тогда как на долю бактерий приходится от 8 до 45% от общей биомассы. По результатам метагеномного секвенирования в составе ортштейнов всех фракций доминируют бактерии из семейств *Gaiellaceae* (8–10%), *Solirubrobacter* (5–7%), *Candidatus Nitrososphaera* (6–7%) и класса *Betaproteobacteria* (3–6%). Однако только в средних и мелких фракциях 2–3 и 1–2 мм присутствуют анаэробные грамотрицательные бактерии рода *Geobacter*, способные к окислению органических соединений, в том числе железо-органических, в количестве 3–4% от общего пула бактерий. А бактерия из класса *Chroloflexi* (*Ellin6529*) присутствует только во фракции 3–5 мм, где составляет 2–3% от бактериального сообщества. Лишь в конкрециях обнаружены отсутствующие в мелкоземе почв железомарганцевые микромодульные бактерии *Betaproteobacteria* MNDI и анаэробные грамотрицательные бактерии *Anaeromuxobacter*, способные к биоредукции железа и марганца. При этом наблюдается нарастание количества представителей данного вида с увеличением размерности ортштейнов: с 3,6% во фракции 1–2 мм до 2,4–2,7% во фракции 2–3 и 3–5 мм. В крупных конкрециях переувлажненных почв в большом количестве (5%) обнаружены фотосинтезирующие бактерии семейства *Rhodospiraceae*, при этом количество представителей семейства *Gaiellaceae* уменьшается до 2%.

Полученные результаты химических, микроморфологических и ДНК-анализов убедительно доказывают биогенную природу железисто-марганцевых конкреций, образующихся в верхних горизонтах почвенного профиля серых лесных почв. При этом

изотопный состав органического вещества ортштейнов соответствует типу господствующей древесной растительности. 100-летнего периода агрогенного освоения изученных почв оказалось недостаточно для изменения изотопного состава конкреций. Обладающие большой удельной поверхностью, соединения лигнина древесных растений стабилизируются полуторными оксидами железа и становятся центрами дальнейшего ортштейнообразования. Корреляция между содержанием Fe по Баскомбу и содержанием лигнина (VSC – сумма лигниновых фенолов) в светло-серых почвах $r = 0,96$ ($P = 0,95$). Формирование конкреций разного размера и габитуса происходит независимо друг от друга, и процесс этот в большей мере – не современный, зависящий от степени прошлого гидроморфизма почв. В автоморфных условиях с временным поверхностным переувлажнением около 2000 лет назад началось формирование мелких округлых конкреций с тонкослоеватым строением. В более гидроморфных позициях ландшафта конкрециогенез начался позже – около 1600 лет назад и сопровождался формированием более крупных овальных конкреций. Как следует из анализа фракционирования изотопов углерода, в крупных фракциях накапливаются слабо разлагающиеся в гидроморфной среде обогащенные лигнином остатки растений, в мелких фракциях преобладают продукты жизнедеятельности микроорганизмов, обладающие более тяжелым изотопным составом. И именно железисто-марганцевые бактерии создают концентрическую слоистую структуру в мелких конкрециях. Исходя из данных ДНК-секвенирования, активными участниками конкрециообразования помимо бактерий являются грибы и водоросли. Однако ведущая роль в формировании крупных конкреций в микропонижениях рельефа принадлежит железо-марганцевым бактериям *Betaproteobacteria* MNDI и анаэробным грамотрицательным бактериям *Anaeromyxobacter*. Мелкие конкреции сформированы в более автоморфных условиях микроповышений при участии анаэробных грамотрицательных бактерий рода *Geobacter*, способных к окислению органических соединений. По мере увеличения размеров ортштейны уплотняются, соответственно уменьшаются внутренние площади поверхностей для адсорбции и развития микроорганизмов, имеющих более тяжелый изотопный состав. Микроорганизмы в большей мере аккумулируются в мелких фракциях, тем самым утяжеляя изотопное отношение.

С помощью математических методов обработки трехмерных изображений рентгеновской томографии получена уникальная количественная информация о структуре порового пространства железисто-марганцевых конкреций агросерых почв Русской равнины. Рентгеновская компьютерная микротомография позволяет установить различия по кривизне поверхности, объему, пористости и удельной поверхности в зависимости от размера конкреций даже при детальном рассмотрении: фракции 1-2; 2-3 и 3-5 мм. С увеличением размера конкреций порозность, кривизна поверхности, объем, удельная поверхность – возрастают. Обнаружены отчетливые центры концентрирования, хорошо выраженные кольца нарастания колоний микроорганизмов в мелких фракциях (1–3 мм) ортштейнах, их концентрически-тонкослоеватое сложение и самые высокие показатели округлости – максимальную кривизну поверхности. Удревнение возраста ортштейнов мелких фракций, отличающихся отчетливым концентрическим строением, вероятно, связано с различиями в биохимической и окислительно-восстановительной обстановках в начале более теплого железного века или римского времени и с последующими эпохами повышенной гумидности климата в IV–VII вв., которые зафиксированы нами для Русской равнины и по изотопному составу погребенных почв археологических памятников Русской равнины.

Биохимический состав конкреций достаточно стабилен, однако осушение вызывает глубокую трансформацию не только свойств и режимов почв, но и усиливает микробиологическую деятельность, что подтверждается увеличением количества грибной и бактериальной биомассы. Биомасса грибного мицелия в ортштейнах автоморфной почвы в 2,5 раза больше, чем в конкрециях гидроморфной (0,413 и 0,165 мг/г ортштейнов соответственно). Микробиологическая активность подтверждается нарастанием содержания диэфиров микробного происхождения по данным ^{31}P ЯМР-спектроскопии, увеличением содержания серы на фоне значимого уменьшения количества азота и углерода, снижением общей массы самих ортштейнов. Как результат мы наблюдаем трансформацию и такого, казалось бы, устойчивого соединения как лигнин. По отношению к первым годам последствия дренажа (1989–92 гг.) за 15 лет в ортштейнах произошло значимое уменьшение содержания продуктов окисления лигнина по всем фракциям. Но при этом отмечается нарастание окисленности биополимера в ортштейнах всех фракций. Происходит перераспределение кислот и альдегидов в ортштейнах и значимо увеличивается величина отношения ванилиновых кислот к ванилину, сиреневых кислот к сиригилловым альдегидам. Степень трансформации молекул лигнина в ортштейнах по отношению к исходной растительной ткани в мелких фракциях (1–3 мм) остается неизменной в разные годы наблюдений, как и отношение лигнина к азоту, в то же время в крупных (3–5 мм) увеличилась более чем в 2 раза по отношению к первым годам последствия дренажа. Облегчение изотопного состава крупных фракций конкреций в осушенных почвах подтверждает наибольшую трансформацию крупных конкреционных новообразований. В целом изотопный состав углерода разных фракций обнаруживает в них остатки современных видов растений и подтверждает ведущую роль лигнина в формировании ортштейнов и динамичный характер конкрециообразования в антропогенных условиях. Таким образом, осушение приводит к глубокой трансформации конкреций на фоне непрекращающегося процесса ортштейнообразования. Расчеты запасов биофильных элементов в почве и конкрециях позволяют изменить мнение о малой их доле и учитывать их содержание при моделировании, например, по стоку и эмиссии углерода. Рекомендован апробированный на основе многочисленных данных новый диагностический критерий "содержание углерода в конкрециях" по степени гидроморфизма почв и оценки эффективности мелиоративных систем с целью их реконструкции.

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания МГУ №121040800146–3.

УДК 631.46

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО И АГРОГЕННОГО ФАКТОРОВ НА КОМПЛЕКС ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ АРКТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВРО-ВОСТОКА РОССИИ

Ковалева В.А., Лаптева Е.М., Денева С.В., Виноградова Ю.А., Панюков А.Н.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: kovaleva@ib.komisc.ru

Экосистемы тундровой зоны Европейского северо-востока России формируются в суровых природно-климатических условиях и имеют высокую уязвимость к нарушениям антропогенного происхождения. В арктическом регионе Европейского северо-востока России одним из крупнейших угледобывающих районов является Воркутинский промышленный район (Республика Коми). Здесь идет добыча каменного угля закрытым и открытым способами, что сопровождается образованием породных отвалов. Отвалы занимают большие площади и служат мощнейшим источником аэрогенного загрязнения прилегающих территорий. С развитием угольной промышленности на крайнем севере во второй половине XX века возникла необходимость обеспечения местного населения

животноводческой продукцией. С этим связано начало активного сельскохозяйственного освоения тундровых ландшафтов. В пойме реки Воркута были созданы пашни, которые ежегодно вспахивались и засеивались овсом. На водораздельных территориях ерниковой тундры были созданы сеяные луга длительного пользования из местных видов многолетних трав. В настоящее время все сельскохозяйственные земли в этом регионе выведены из сельскохозяйственного использования. На заброшенных землях возникают новые, постагрогенные экосистемы, характеризующиеся другим составом и структурой растительности и свойствами почв.

При изучении трансформации природных экосистем под влиянием различных видов нарушения и загрязнения необходим системный подход, так как все компоненты экосистемы взаимосвязаны между собой и реагируют на изменения параметров друг друга. Особенно чутко реагируют на изменение условий среды обитания почвенные микроорганизмы, которые могут служить индикаторами состояния окружающей среды и быстро реагировать на наличие загрязнения в ней. Особое внимание в данном контексте стоит уделить сообществам почвенных микромицетов, поскольку они в большей степени определяют здоровье почвы и процессы, связанные с ее плодородием.

В настоящем исследовании представлены результаты изучения сообществ микромицетов ненарушенных, постагрогенных тундровых почв и почв, находящихся в зоне воздействия породного отвала угольной шахты. Исследования проводили в подзоне южной тундры (Воркутинский район Республики Коми), которая приурочена к юго-восточной части Большеземельской тундры. Период исследования составляет несколько лет (2004-2022 гг.). Результаты исследования объединяют современные неопубликованные данные и данные из опубликованных статей.

Изучение сообществ почвенных микромицетов проводили в типичных для южных тундр зональных и интерзональных экосистемах. Ерnikово-ивняковая моховая тундра расположена на плоской вершине водораздельного холма (67°53'с.ш., 64°08'в.д.). В напочвенном покрове доминируют мхи и лишайники, почва - глеезем криометаморфический. В пойме р. Воркута расположен участок пойменного ивняка разнотравно-злакового, который характеризуются разреженным травянистым покровом с доминированием злаков. Почва - аллювиальная гумусовая глееватая.

Из ненарушенных тундровых почв ерниково-ивняковой моховой тундры и пойменного ивняка выделено 49 видов микромицетов из 17 родов и стерильный мицелий.

Подавляющее число видов относится к отделу *Ascomycota* – 39 видов из 13 родов.

Доминирует по числу видов род ерниково-ивняковой моховой тундры *Penicillium* – 19 видов, род *Trichoderma* – 5 видов, род *Talaromyces* – 3 вида. Остальные роды (*Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Emericella*, *Humicola*, *Keithomyces*, *Paecilomyces*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus*) представлены 1-2 видами. Отдел *Mucoromycota* представлен 10 видами из родов *Mucor* (4 вида), *Mortierella* (2 вида), *Umbelopsis* (3 вида), *Podila* (1 вид). Ненарушенные тундровые почвы водораздельного и пойменного ландшафтов характеризуются обилием стерильного мицелия (светло- и темноокрашенного) в составе сообществ микромицетов.

Из почвы ерниково-ивняковой моховой тундры выделено 39 видов с доминированием рода *Penicillium* (18 видов), аналогичную картину наблюдаем в почве пойменного ивняка, где выделено всего 35 видов микромицетов и 34% от общего видового разнообразия составляют виды рода *Penicillium*.

Исследования влияния породных отвалов угледобывающих шахт проводили на территории породного отвала шахты «Воркутинская». Отвал образован шахтными породами, имеющими углисто-аргилитовый состав. Развития растительности на отвале не отмечено. При визуальном обследовании территории были выделены три зоны по влиянию техногенного объекта на состояние почвенно-растительного покрова: 1 – импактная зона, 2 – буферная зона, 3 – условно фоновая. К импактной зоне (зоне

максимального воздействия) относятся участки в радиусе 50 м от отвала. Буферная зона охватывает территорию 700 м от границы отвала, условно фоновая – в 4 км.

На участках, подвергающихся активному антропогенному воздействию, связанному с добычей угля происходят изменения в почвенно-растительном покрове, составе и структуре комплекса микромицетов. Из отвальной породы выделены и идентифицированы виды микромицетов из отделов *Ascomycota*, *Mucoromycota* и *Basidiomycota*. Активно выделялись и доминировали колонии стерильного мицелия. Из отдела *Mucoromycota* к доминантам по относительному обилию относятся *Mucor racemosus* и два вида рода *Mortierella* - *M. alpina* и *M. cephalosporina*. Из отдела *Ascomycota* высоким обилием характеризовались виды: *Cladosporium herbarum*, *Aureobasidium pullulans*, *Stemphylium vesicarium*. В почве импактной зоны отмечается «перерождение» типичного комплекса микромицетов, в результате высоким обилием характеризуются виды, редко встречающиеся или вовсе нетипичные для зональных почв: *Mucor piriformis*, *M. globosum*, *M. circinelloides*, *M. racemosus*, *Mortierella pusilla*, *M. cephalosporina*, *M. turficola*, *Keithomyces carneus*, *Phialemonium inflatum*, *Penicillium purpureescens*. Отличительной чертой микоценоза почвы импактной зоны является обилие дрожжей. В почве буферной зоны среди доминирующих и частых видов представлены как типичные для тундры *Pseudogymnoascus pannorum*, *Penicillium lanosum*, *Cladosporium herbarum*, *Mortierella alpina*, так и виды, активно развивающиеся в импактной зоне. Угольная пыль, попадающая на прилегающие к породному отвалу территории, изменяет почвенные условия, что подтверждается присутствием в составе почвенных микромицетов видов устойчивых к техногенному воздействию и характерных для нарушенных местообитаний. Однако, формирование в импактной зоне специфического сообщества микромицетов в значительной мере связано с изменением растительного покрова и влажности почвы вблизи отвала.

Исследованы разновозрастные постагрогенные экосистемы, занимающие разное положение в рельефе – от элювиального типа ландшафта (вершина водораздельного холма) к аккумулятивному (пойма р. Воркута). Исследования постагрогенной трансформации экосистем проводили на вершине водораздельного холма на двух участках: разнотравно-злаковый луг (22-летняя залежь, (67°53' с.ш., 64°11' в.д.)) и ивняково-ерниковая травяно-кустарничковая тундра (54-летняя залежь (67°53' с.ш., 64°08' в.д.)). Растительное сообщество 22-летней залежи представлено разнотравно-мятликовым лугом с доминированием высеянного ранее мятлика лугового. На этом участке после прекращения хозяйственного использования в состав травостоя начали внедряться виды злаков и разнотравья, характерные для тундровых сообществ, которые образуют в пределах луга значительные по площади синузии. В период проведения исследований участок 22-летней залежи активно заселяется ивами. Фитоценоз 54-летней залежи характеризуется составом и структурой близкими к тундровому сообществу. Основные отличия прослеживаются в составе напочвенного покрова: на участке 54-летней залежи высока доля травянистых растений, а проективное покрытие мхов и лишайников не превышает 10%. Еще две постагрогенные экосистемы расположены на надпойменной террасе в пойме р. Воркута. На надпойменной террасе (24-летняя залежь (67°53' с.ш., 64°05' в.д.)) – лисохвостно-мятликовый луг, и в пойме 21-летняя залежь (67°53' с.ш., 64°03' в.д.)) – разнотравно-злаковый луг, сохраняют целостность луговых сообществ, несмотря на то, что состав травянистых растений изменился со времени их сельскохозяйственного использования. Активного внедрения в травостой тундровых кустарников пока не отмечено.

В постагрогенных тундровых почвах видовое разнообразие микромицетов выше, чем в почвах ненарушенных экосистем. Всего выделено 72 вида из 25 родов. Род *Penicillium* представлен 22 видами, на втором месте числу видов род *Mucor*, но этот род представлен только 6 видами. Род *Trichoderma* насчитывает 5 видов, род *Talaromyces* – 4 вида, род *Umbelopsis* – 4 вида, род *Aspergillus* – 3 вида, род *Cephalosporium* – 3 вида, род

Cladosporium – 3 вида, род *Mortierella* – 3 вида. Остальные роды (*Aureobasidium*, *Botrytis*, *Emmericella*, *Chrysosporium*, *Fusarium*, *Keithomyces*, *Linnemannia*, *Niesslia*, *Neosartorya*, *Paecilomyces*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus*, *Podila*, *Spicaria*, *Torula*, *Verticillium*) представлены 1-2 видами. Как и в ненарушенных почвах, комплексы микромицетов постагрогенных почв характеризовались высокой частотой встречаемости и обилием разных форм стерильного мицелия.

В ряду постагрогенных экосистем от элювиального к аккумулятивному ландшафту увеличивается видовое разнообразие и специфичность комплекса почвенных микромицетов, снижается обилие стерильного мицелия и видов рода *Penicillium*, и увеличивается обилие видов рода *Cladosporium*, *Mucor*, *Umbelopsis*. В целом в постагрогенной почве пойменного луга складываются наиболее благоприятные условия для функционирования микробного комплекса. Растительные сообщества постагрогенных экосистем тундры зоны спустя 21-24 лет после прекращения агрорежима продолжают сохранять ценотическую замкнутость, что поддерживает сохранение в почвах свойств, сформировавшихся в период их сельскохозяйственного использования. В большей степени это выражено в почвах экосистем надпойменной террасы и поймы, поэтому процесс восстановления здесь может занять неопределенно долгое время. Для более конкретных временных рамок необходимы дальнейшие исследования постагрогенеза в тундровой зоне.

Таким образом, общий видовой список почвенных микромицетов нарушенных и естественных экосистем южной тундры насчитывает 86 видов из 30 родов и две формы стерильного мицелия (светло- и темноокрашенную). Доминирующее положение в комплексе микромицетов занимают виды рода *Penicillium*. Высоким обилием характеризуются разные формы стерильного мицелия.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН: «Микробные сообщества экосистем Севера, их биотехнологический потенциал и технологии его реализации (125021201993-3)».

УДК 631.46

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПОЧВ РАЗНЫХ ПРИРОДНЫХ ЗОН В УСЛОВИЯХ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ

Ковалева Е.И.¹, Трофимов С.Я.¹

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail katekov@mail.ru

Последние десятилетия характеризовались увеличением потребностей человечества в природных ресурсах, что масштабно отразилось на состоянии экосистем и привело к их деградации, том числе необратимой. Высокие природоёмкость и экономическая роль биоресурсов, преобладание потребительского отношения к живой природе являются основными чертами современного природопользования. Проблема снижения площадей деградированных земель является одной из приоритетных в целях сохранения окружающей среды, устойчивого развития регионов Российской Федерации, обеспечения продовольственной безопасности (2012, 2017, 2023, 2024, 2025). Антропогенные факторы и проявление их негативного воздействия на экосистемы разнообразны. Увеличение численности населения привело к росту спроса на продовольствие, выращивание биоэнергетических культур, изменению характера землепользования. Процессы урбанизации, растущая потребность в энергии и, как следствие, наращивание нефтедобычи и добычи других полезных ископаемых, также тесно связаны с увеличением потребностей человека, что интенсивно влияет на экосистемы, приводит к ухудшению их функционирования и деградации. Между тем жизнь человека связана с почвенными ресурсами, предоставляющими широкий спектр экологических функций и услуг. Загрязнение почв и нарушение земель представляет опасность для окружающей среды и здоровья человека. Наиболее распространенными видами загрязнителей остаются нефть и нефтепродукты, последние крупные аварии (2020 и 2024 года) подтверждают это.

Поэтому для природопользователей установлено требование о проведении рекультивации загрязненных земель. Земли подлежат восстановлению до состояния, пригодного для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, путем обеспечения соответствия качества земель нормативам качества окружающей среды. Одной из задач стратегических целей государственной политики в области экологического развития является восстановление нарушенных естественных экологических систем посредством сохранения и восстановления защитных и средообразующих функций естественных экологических систем вне особо охраняемых природных территорий (2017), а также достижения национальной цели Российской Федерации - "Экологическое благополучие" (2024). Современное нормирование является механизмом экологического регулирования качества окружающей среды посредством установления нормативов качества.

Одним из компонентов природной среды является почва, через которую осуществляются экологические связи живых организмов с литосферой, гидросферой и атмосферой. Связи почв с компонентами природной среды, взаимосвязи процессов и живых организмов в почвах масштабно раскрыты в учении об экологических функциях почв, разработанном Г.В. Добровольским, Е.Д. Никитиным (1986). Проведенный авторами анализ функций почв в экосистемах и биосфере показывает, что почва выступает главным связующим звеном функционирования биосферы, имея с компонентами природной среды как прямые, так и обратные связи.

В рамках экологического нормирования качества почв оценивается по критерию выполняемых почвой экологических функций (Ковда, 1979, Добровольский, Никитин, 1986, 1990; Трофимов и др., 2013, 2023; Ковалева и др., 2024, 2023, 2018). Сохранение природного разнообразия почв, предотвращение их деградации при ведении хозяйственной деятельности, обеспечение «здоровья» почв обеспечивается за счет выполнения почвой своих функций в экосистемах (Соколов и др, 2020, Ковалева и др, 2016, 2024). Здоровье почвы (Доран, 1998, 2002) в широком смысле определяется, как способность живой почвы функционировать в пределах естественных или управляемых границ экосистем для поддержания продуктивности растений и животных, поддержания или улучшения качества воды и воздуха, а также укрепления здоровья живых организмов. Согласно Национальной стратегии (2001), ключевой позицией для жизни человека являются экологические функции, направленные на поддержание биосферных процессов на Земле и формирование благоприятных условий жизни человека (включая чистый воздух, чистую воду, плодородие почвы, климат). Экосистемный подход - это комплексная стратегия управления земельными, водными и живыми ресурсами, которая особенно важна в контексте интенсификации потребления ресурсов, включая добычу нефти. Таким образом, эти экологические проблемы определяют необходимость установления безопасных норм остаточного содержания загрязняющих веществ, в том числе нефтяных углеводородов для почв, чтобы сбалансировать оптимальное соотношение между человеком и природой. Почвообразовательные процессы обладают высокой быстротечностью, способностью к самосохранению, развитию, однако роль и функции почвенного покрова в биосфере возрастали со временем, усложнялись, отражая разнообразие форм живого вещества (Ковда, 1985). Среди важнейших функций почвенного покрова, свидетельствующих о его незаменимости, следующие:

- биоэкологические функции как экологическая ниша, убежище и область концентрации живого вещества;
- биоэнергетические функции;
- азото-белковая функция почвенного покрова;
- биогеохимические функции, с помощью которых происходит фиксация химически полезной энергии, а также вынос на поверхность и в корнеобитаемые горизонты химических элементов и их соединений;
- гидрологические функции почвенного покрова;

- газово-атмосферные функции;
- защитный экран жизни.

Экологические функции почв могут быть условно разделены на «внешние» и «внутренние» (Дергачева, 2009). «Внешние» функции – глобальные (Добровольский, Никитин, 1990) ориентированы на прямую – обратную миграционную и транслокационную связи с другими компонентами природной среды: водными объектами, атмосферным воздухом и др. «Внутренние» функции обусловлены физическими, химическими и биологическими свойствами биогеоценотического мира почв (Добровольский, Никитин, 1990).

Критерием установления нормативов качества почв в экологическом нормировании является их способность выполнять экологические функции (Трофимов, 1998).

Изучено влияние разного уровня нефтезагрязнения в модельных экспериментах для почв разных природных зон. Оценка экологического состояния почв при разных уровнях нагрузки выполнена на основе изучения способности выполнять отдельные экологические функции почв, вслед за опытом авторов (Герасимова и др., 2015), когда при картографировании экологических функций некоторые из них были исключены из рассмотрения. Предел антропогенной нагрузки, ограниченной пороговыми значениями – нормативами качества, оценивался по ряду «внутренних» биогеоценологических функций и «внешних» функций по влиянию на сопредельные природные среды. Для определения нормативов качества почв по содержанию нефтепродуктов применяли показатели вредности, отражающие вероятность миграции загрязняющих веществ из почвы в сопредельные среды -компоненты природной среды (Методические рекомендации..., 1982): в поверхностные и подземные воды - миграционный водный показатель (Ковалева и др, 2021, 2023), в растения – транслокационный показатель (Трофимов и др., 2024; Ковалева и др., 2019, 2022). Для оценки условий функционирования биоты в условиях нефтезагрязнения использовались биоиндикационные показатели, численно выражающие способность почвы выполнять экологические функции почв (Ковалева и др, 2016, 2024). Исследования с использованием водного миграционного показателя проводились в лизиметрическом эксперименте (Ковалева и др., 2021): оценка перехода отдельных веществ нефтепродуктов и их миграции в водную среду. Полученные данные оценивали результативность сохранения гидрологической функции при разных уровнях загрязнения почв нефтепродуктами.

Показателем, характеризующим сорбционную способность почв, как барьерную функцию выбрана характеристика почв по показателям: торф / гранулометрический состав почв; содержание органического вещества / потеря при прокаливании, емкость катионного обмена для органо-минеральных горизонтов.

Для оценки «здоровья» почвы и выполнения ряда биоценологических функций почв успешно применены показатели функционирования биоты в почве – интегральные показатели, позволяющие количественно оценивать изменения их состояния. Для оценки функции как среды обитания использовался метод фитотестирования: вегетационный опыт в горшках с семенами высших растений (двудольное и однодольное). Основные показатели биологической активности почв: микробная биомасса (в пересчете на углерод микробной биомассы), базальное дыхание (БД) почвы дают количественную оценку интенсивности трансформации углерода органических веществ в почве, а также косвенно отражают дыхательную способность почв – газообмен между почвой и атмосферой. Авторами (Кудеяров, 2000) установлено, что «дыхание почвы» является мощным фактором влияния на состав атмосферного воздуха: из почвы в атмосферу выделяются диоксид углерода, метан, закись азота и другие газы, с одновременным поглощением кислорода атмосферы. Влияние на биохимическую активность оценивалось по изменению активности почвенных ферментов (например, активности каталазы) на разные уровни нефтезагрязнения.

Максимальные величины норматива качества почв по водному миграционному показателю установлены для болотных олиготрофных почв в пределах 60-80 г/кг сухого вещества, эутрофных почв – 10-20 г/кг почвы, для аллювиальных гумусовых – 3-5 г/кг почвы. Пороговые концентрации для почв, определяемых по функциональным показателям, были более жесткими, для черноземов значения нормативов варьировали в пределах 1-3 г/кг, в почвах сухостепной зоны не превышали 2 г/кг, также как и в почвах подзолистого ряда.

Таким образом, на примере экологического нормирования содержания нефтепродуктов в почве показано, что критерием установления нормативов качества почв является оценка выполнения экологических функций почв (Добровольский, Никитин, 1986, 1990) посредством изучения ряда показателей, численно описывающих отдельные функции почв.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № 121040800147-0 «Почвенные информационные системы и оптимизация использования почвенных ресурсов».

УДК 631.4

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ ГОРНЫХ ПОЧВ В БИОСФЕРЕ И ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА Ковалева Н.О.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, natalia_kovaleva@mail.ru

Со второй половины прошлого века, когда над человечеством нависла реальная угроза глобальной экологической катастрофы, и были осознаны общепланетарные экологические функции гор, последние становятся объектами пристального научного изучения.

Подтверждение этому - Международный проект МАБ-6 ЮНЕСКО «Горные экосистемы» и деятельность Международной Ассоциации академии наук СНГ «Горная геоэкология и устойчивое развитие». А в резолюции ООН «Повестка дня на XXI век» имеется раздел «Горная глава» под № 13 (Рио-де-Жанейро, 1992), подчеркивающая общепланетарную важность и уникальность горных ландшафтов. 2002 год поэтому был объявлен Генеральной Ассамблеей ООН Международным годом гор. Предпринимаются даже попытки выделения всей совокупности научных знаний о горных регионах в отдельную область знания – монтологию (от англ. mountain) или геомонтологию. Горные регионы занимают около четверти поверхности Земли и около пятой части суши. Они служат домом одной десятой части населения планеты и обеспечивают необходимыми ресурсами половину человечества. Многие страны, и особенно страны с невысоким уровнем жизни, такие как Непал, Киргизия, Грузия, Таджикистан, Афганистан, Монголия и т.д. практически полностью приурочены к горным территориям. В России, например, 43 субъекта федерации из 89 имеют статус горных территорий. Горы распространены во всех природных зонах нашей страны, в частности, и планеты в целом.

С другой стороны, из-за трудной доступности почвенными ресурсами гор до сих пор пренебрегали, поэтому они и сохранились в течение продолжительного времени нетронутыми или слабо используемыми. Рост населения планеты и поиск новых источников существования заставляет человечество все чаще обращаться к горным территориям.

Объектами представленного обобщения послужили накопленные данные о дневных и погребенных почвах археологических памятников, моренных отложений, береговых обнажений в различных вертикальных зонах горных ландшафтов: Хибинского горного массива, Крымских гор, Альп, Большого и Малого Кавказа, Среднего Урала, Тянь-Шаня, Памира, Забайкалья, а также литературные данные.

Функции горных почв как в планетарном, так и в региональном масштабах многообразны. Известно, что заселение евразийского континента первобытным человеком происходило через горные территории альпийского орогенного пояса. Так, на Саянском нагорье к началу голоцена был одомашнен северный олень. Мезолитические и неолитические следы

человека на Восточном Памире обнаружены на высотах, недостижимых для современного человека без специальной тренировки – 4000-5000 м над уровнем моря. Множество древнейших наскальных рисунков со сценами охоты, солярными знаками, геометрическими символами обнаружено в горах Южной Сибири. Таким образом, динамичная среда вертикального мира, по мнению Голубчикова (1999), была мощнейшим катализатором биохимических процессов в организмах, мутагенеза и, в конечном итоге, эволюции человека.

Сложные вертикали рельефа предоставляли человеку больше надежных убежищ и хранилищ огня (скальные навесы, гроты, пещеры). Чистая ледниковая вода, плодородные почвы горных долин, защита от хищников и неприятелей в горных долинах, меньшее количество кровососущих насекомых, мягкий климат и большое климатическое разнообразие территорий способствовали зарождению цивилизаций в горах Средиземноморья, Передней Азии, Тибета, Индокитая, Мексики, Перу, Абиссинии, Персии и Мидии, Урарту в Армении, бактрийской культуры в предгорьях Гиндукуша и т.д.

Отличительной особенностью горных ландшафтов является их вертикальная зональность на склонах, когда природные зоны сменяют друг друга от подножия к вершине вслед за увеличением количества осадков и интенсивности солнечной радиации и уменьшением температур. Типы структур высотной поясности в горах неодинаковы и зависят от расположения горной страны в системе широтной зональности, тогда как нижний предгорный пояс почти не отличается от близлежащего равнинного.

Именно в горах наиболее сильно выражены контрасты температур, магнитные и физические аномалии, мощнее проявляется воздействие космических факторов – главные причины природно-климатических и генетических переломов. Количество осадков в горах в среднем увеличивается на 100 мм при подъеме на каждые 100 м при одновременном снижении температуры на полградуса. В горах весьма изменчив градиент давления, солнечной радиации, геомагнитных колебаний. Очевидно, что горные ландшафты вследствие указанных причин являются территориями высокой экологической градиентности, которая затрудняет их активное антропогенное освоение, с одной стороны, но и оставляет их наиболее экологически безопасными – с другой. Повышенная контрастность и разнообразие горных ландшафтов обеспечивают высокую биопродуктивность экосистем и высокое их биоразнообразие. При этом горные почвы выступают и как депо семян, и как центры видообразования для основных видов культурных растений. Н.И. Вавилов выделил семь основных центров происхождения культурной флоры и фауны, и все они тяготеют к горным регионам тропиков и субтропиков. Весьма селекционно перспективными для развития земледелия в северных странах считал Н.И. Вавилов высокогорные виды, адаптированные к зимним заморозкам и суровому климату.

С другой стороны, «плотинный эффект» горных хребтов на пути вынужденных странствий племен и этносов привел к скоплению в пределах одной горной страны разнонаправленных потоков культур, рас и языков. Хорошо известно, что расположенные большей частью на территории России Кавказские горы и Урал образуют естественную географическую границу между Европой и Азией. В результате таким «вулканом народов» стал Кавказ, на котором проживает более 50 национальностей.

Палеопочвенная расшифровка архива черноземовидных почв обнаружила, что Северокавказский регион встретил в начале нашей эры гонимых гуннами алан сухой в предгорьях и луговой степью в горах с плодородными пригодными для земледелия и отгонного пастбищного скотоводства горными черноземами и горно-луговыми черноземовидными почвами на выположенных участках горных долин, обилием строительного камня (известняка), близким и доступным лесом на склонах хребтов, организованными в скальном грунте и горном рельефе естественными оборонительными позициями. Эпоха стабильного почвообразования, по нашим данным [Ковалева, 2009], на

занятых аланами лавинных конусах и отсутствия значительных ледниковых подвижек продолжалась вплоть до XIII века. За этот период поселения алан успели сформировать на нетронутых человеком поверхностях культурные слои городищ и селищ, террасированный агропейзаж. И уже в I тысячелетии н.э. одна из ветвей Великого Шелкового Пути проходила по территории нынешней Карачаево-Черкесии. Ключевой участок караванной дороги на Северном Кавказе контролировался аланами, государство которых являлось здесь главной политической силой. Исследованное нами городище Кяфар расположено на узком лесистом хребте Мыцешта – на водоразделе рек Кяфар и Кривая на высоте 1100-1300 м и состоит из Верхнего и Нижнего городищ, расположенных анфиладой вдоль одной оси по ступенчато понижающемуся склону. Уровень воды в горных реках был значительно ниже сегодняшнего, поэтому у городища Кяфар существовала разрушенная сегодня береговая часть, а наличие оросительных каналов выше зоны современного земледелия подтверждают вывод о термическом максимуме средневековья. Эволюция и география аланского этноса на Северном Кавказе, по-видимому, зависела от динамики и амплитуды изменения природных условий, прежде всего, степени увлажненности климата и интенсивности экзогенных процессов. Расцвет аланских городских поселений совпадает по времени с сухим и теплым «архызским перерывом» в оледенении горных вершин Кавказа в VII-XI вв. и продвижением черноземов по горным долинам вверх. А распад аланской культуры в горах – с усиливающейся гумидностью климата, наступанием леса на степь, нарастанием лавинной активности и активизацией склоновых процессов перед началом Малого Ледникового периода, датированного по палеопочвенным данным концом XV - началом XVIII вв. Именно в труднодоступных условиях высокогорий, в холодных неблагоприятных для патогенных микроорганизмов средах до наших дней уцелели древнейшие этносы и культуры.

Горы Олимпа, Арарата, Фудзиямы, Синая, Афона – это известные духовные вершины всего человечества.

Не с заболоченными равнинами великих рек, заселение и освоение которых стало возможным лишь при сравнительно высоком уровне гидротехники и социальной организации, а с черноземовидными почвами горных долин следует связывать возникновение навыков земледелия и искусственного обводнения. В дальнейшем именно пойменное земледелие гор, где в диком состоянии росли злаковые и плодовые культуры, трансформировалось в более рациональные формы орошаемого земледелия Нила, Двуречья, Инда [Голубчиков, 1989].

С точки зрения биоразнообразия каждый горный массив похож на остров, так как виды животных, растений и почв в нем изолированы от обитателей сопредельных пространств. Поэтому до сих пор не решены вопросы о специфичности горного почвообразования и о классификационном положении горных черноземов, горных луговых почв, горнолесных почв и пр. С другой стороны, в пределах одного горного массива может существовать большое разнообразие жизни в различных растительных зонах: экосистемы горных территорий формируются и на криоаридных и тундрово-мерзлотных почвах в зонах вечной мерзлоты, пустыни, тундры; на горно-луговых почвах развиты высокотравные субальпийские луга и низкотравные альпийские ковры; на буроземах - хвойная тайга и широколиственные леса, на коричневых - парковые можжевельниковые экосистемы, степи и сухие степи – на черноземах и каштановых почвах, болота – на торфяниках, засоленные ландшафты – на солончаках и т.д. Контрастные экологические ниши складываются на теневых и солнечных склонах, на открытых пространствах и в пещерах, на породах разного минералогического состава, на склонах разной экспозиции, в условиях разной солнечной инсоляции, влажности, температур, ветровой активности и фенов, в различных условиях дренирования, на разновозрастных поверхностях.

Общей особенностью сельскохозяйственного освоения горных экосистем является преобладание экстенсивных форм ведения хозяйства. Это приводит к вовлечению в сферу

сельскохозяйственного производства большого количества природных, в том числе, земельных ресурсов, что при их ограниченности в горах, обуславливает высокий уровень антропогенных нагрузок [Владыченский, 1998]. Основным традиционным способ хозяйствования в горах - отгонное скотоводство, традиции которого во многом утеряны. В условиях кочевого образа жизни населения, оно не превышало буферной емкости ландшафтов. Но после перевода в 1957 г. всего кочевого населения России на оседлый образ жизни, площадь пастбищ резко сократилась, и перевыпас стал приводить к катастрофическому развитию эрозии почв на горных склонах. Во всех регионах мира вместо конкурентно неспособных по сравнению с равнинами ресурсоемких способов освоения горных почв фермеры диверсифицируют свою деятельность, отдавая предпочтение традиционному яководству (яки круглый год могут находиться на горных пастбищах, не требуя дополнительного корма), тонкорунному овцеводству, козоводству для получения кашемира, пчеловодству, терруарному виноградарству, племенному животноводству и разведению лошадей, выращиванию ореховоплодовых садов. Агроосвоение горных ландшафтов в нашей стране приурочено к черноземам предгорий и черноземовидным почвам горных долин и ограничивается, с одной стороны, верхним пределом земледелия для различных культур и укороченным вегетационным периодом, а с другой – крутизной склонов и развитием эрозии почв. Почвенно-эрозионное обследование сельскохозяйственных угодий Карачаево-Черкесии свидетельствует о широком распространении эродированных почв, степень смытости которых варьирует от слабой до сильной. Наиболее подвержены процессам водной эрозии почвы пастбищ, которые абсолютно преобладают в составе земельных угодий горных стран и испытывающих сильную антропогенную нагрузку из-за ненормированного выпаса скота. Эрозионными процессами также существенно нарушены почвы сенокосных угодий, несколько меньше – почвы долинных пашен. Ориентация на принятые в земледелии величины терпимой эрозии при незначительной мощности рыхлого чехла приведет к его утрате за первые десятки и сотни лет эксплуатации. Необратимая деградация рыхлых покровов с выходом скального основания на поверхность массово наблюдается в горных районах практически всех республик Северного Кавказа, где проведенная Ромашкевич (1980) оценка ее реальных скоростей показала вхождение горных территорий в катастрофический период. Наши данные [Ковалева, 1989, 2009] свидетельствуют о том, что антропогенный фактор меняет направленность естественной эволюции ландшафтов пастбищ и сенокосов луговостепных и субальпийских луговых экосистем, «остепняя» территории и тем самым сдвигая высотные зоны вверх за счет изменения видового состава и биомассы травостоев. Горные ландшафты, располагаясь в «краевых частях» биосферы, первыми реагируют на изменения климата развитием или сокращением горных ледников, смещением вертикальных растительных зон, изменением свойств почв и структуры почвенного покрова. В погребенных горизонтах почв, формирующихся на различных моренных грядах, записана информация об изменениях климата голоцена. Гидрологическая функция горных почв напрямую связана с тем, что горы – это и самые большие в мире запасы пресной воды в виде льда, за исключением полярных щитов. С начала XX в. регистрируется заметное таяние ледников: наполовину уменьшились в размерах ледники Альп и Кавказа, от снежных шапок гор Кении и Килиманджаро осталось не более 8 %, к 2100 г. большая часть ледников на нашей планете исчезнет, что, возможно, приведет к переделу мира, так как ледники Гималаев и Средней Азии служат источником питьевой воды для 500 млн. Важной атмосферной функцией горных почв является выработка озона высокогорными экосистемами благодаря сочетанию высокой солнечной радиации и значительных скоростей эмиссии биогенных объемов органических компонентов. Трудно переоценить депонирующую роль горных почв, в которых корневая мортмасса в 2-3 раза превышает фитомассу.

Таким образом, в результате разнообразных сочетаний природных и антропогенных факторов в горах формируются сложные разноуровневые геобиосистемы, которые хотя и подчиняются природным закономерностям, но несут в себе новое содержание по сравнению с равнинными. При этом контрастность, мозаичность и интенсивность воздействия на окружающий горный ландшафт многократно усиливается по сравнению с равнинными ландшафтами из-за высокой концентрации на ограниченной территории разновозрастных уязвимых экосистем горных склонов (фандов) и зон бифуркации горных долин. Прерывистые биогеоценозы заповедных территорий и обилие геоархеологических объектов в горах – часть природного и культурного наследия человечества. Работа выполнена по теме государственного задания МГУ 122011800459-3.

УДК 631.48

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗАПАДИН ОКСКО-ДОНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Корнилова А.И.^{1,2}

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва;

²Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва, kulikovanastya2001@yandex.ru

Введение

Различные новообразования в почве являются результатом действия процессов почвообразования. Особенности строения почвенных новообразований, их формы, состав тесно связаны с генезисом почв, свойствами почвообразующих пород, параметрами гидрологического режима, химического состава грунтовых и внутрипочвенных вод и многими другими факторами. В почвах гумидной зоны можно использовать новообразования в качестве индикаторов процессов переувлажнения и тем самым воспроизвести особенности водного режима почв.

Среди методов реконструкции водного режима почв использование прямого мониторинга является достаточно трудоёмкой задачей, в связи с чем актуальной задачей является разработка косвенных методов определения гидрологических условий по диагностическим признакам. Наиболее часто рассматриваемыми и перспективными объектами для оценки параметром водного режима выступают железо-марганцевые или редоксиморфные (согласно иностранной литературе) новообразования, формирующиеся при изменении окислительно-восстановительных условий. Рассмотрение редоксиморфных новообразований на микроуровне, согласно ряду работ, позволяет использовать их в качестве надежных индикаторов процессов почвенного переувлажнения. Однако большинство исследований ограничиваются анализом редоксиморфных новообразований на одном уровне организации почвы — чаще всего на макро- или микроморфологическом.

В настоящей работе к изучению железо-марганцевых новообразований был использован детальный и комбинированный подход на трех уровнях организации почвы: на макро-, микро – субмикро. Целью исследования являлась интерпретация характера водного режима по особенностям состава и строения почвенных новообразований на примере почв днищ западин, расположенных на участке Окско-Донской низменности. Помимо анализа редоксиморфных новообразований, также на микроморфологическом уровне качественно оценивалась степень проработки органического вещества, наличие и мощность пленок по граням агрегатов.

Объекты и методы

Участок исследования расположен в Токаревском районе Тамбовской области.

Исследуемая территория относится к юго-западной части Окско-Донской низменности.

Высота изменяется от 192.4 до 186.2 м, перепад составляет 6.2 м. Равнинность и слабая расчлененность рельефа обуславливают частичную бессточность территории и высокий уровень почвенно-грунтовых вод. Особенностью рельефа является наличие неглубоких блюдцеобразных форм мезорельефа – западин – способных переводить поверхностный сток в грунтовый. Почвообразующие породы представлены покровными лессовидными суглинками и глинами мощностью 3–4 м. Климат территории умеренно-континентальный с выраженной континентальностью и неравномерным распределением осадков в течение года. Среднемесячная температура составляет +5,6°C, в среднем за год выпадает 480±113 мм осадков (70 % приходится на период с апреля по октябрь). Участок располагается в лесостепной зоне. Растительный покров западин в пределах участка представлен осоково-кочкарными и кустарниковыми болотами, ивовыми, осиновыми и дубово-осиновыми колками. Территория входит в состав крестьянско-фермерского хозяйства, однако отобранные для исследования почвы западинных комплексов не затронуты распашкой.

Объектом для исследования послужили почвы днищ 9 западин из 23 выделенных на участке. Отбор контрастных западин с различающимися морфометрическими особенностями и произрастающими растительными формациями проводился по космическому снимку и сверхвысокой (2×2 м) цифровой модели рельефа (ЦМР). Диагностика почв проводилась согласно классификации почв России 2004/2008 гг. и международной классификации почв WRB. По итогам полевых работ и на основе макроморфологических описаний почвы разделены на 3 три группы. По классификации почв России почвы первой группы отнесены к перегнойно-гумусовым глеевым, второй группы – к солодам перегнойно-гумусовым глеевым, третьей группы – к солодам темногоумусовым. По WRB первая группа диагностирована как Oxygleyic Gleysols (Clayic, Histic), вторая как Albic Mollic Gleyic Stagnosols (Clayic), третья как Albic Mollic Histic Planosol (Clayic).

Для микроморфологического анализа монолиты отбирались из центральной части минеральных генетических горизонтов. Всего отобрано 77 монолитов. Съёмка шлифов проводилась с использованием поляризационного микроскопа Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26. При описании использовалась международная терминология, обобщенная Ж. Ступсом и переведенная на русский язык коллективом отечественных микроморфологов (М.И. Герасимовой, И.В. Ковдой, М.П. Лебедевой, Т.В. Турсиной). Дополнительно проведено исследование железо-марганцевых конкреций на субмикроморфологическом уровне на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Tescan Vega 3. Определено количественное содержание железа и марганца в конкрециях, предварительно вытщенных из почвенных образцов, промытых и прокаленных в муфельной печи при 450° для сжигания органического вещества. Перед съёмкой конкреций на поверхность образцов напыляли проводящий слой углерода на установке RotaQ ES, Quorum Technologies.

Результаты

Группа перегнойно-гумусовых глеевых представлена сочетанием перегнойно-темногоумусового горизонта (АН), залегающего на серии из глеевых горизонтов (G), отличающихся между собой цветом, плотностью, степенью увлажнения и содержанию конкреционных новообразований. Конкреции в почвах наблюдались в среднем с глубины 40–50 см, диаметр до 2–3 мм. Грунтовые воды залегали на глубине 1–1.8 м.

В группе солодей перегнойно-гумусовых глеевых сверху диагностирован перегнойно-темногоумусовый (АН) горизонт мелкокомковатой, почти зернистой структуры и мажущей консистенции. Ниже расположен плотный, светло-серый с сизыми и буро-охристыми

пятнами осветлённый горизонт (EL) с железистыми и железо-марганцевыми конкрециями до 4–5 мм (5–8 % от среза). Срединный горизонт (BT) окрашен в охристо-бурые тона с сизыми пятнами, массивный, с ореховатостью и большим количеством конкреций до 2–2,5 мм (до 10 %). По граням структурных отдельностей встречаются гумусово-глинистые и железо-глинистые кутаны. Грунтовые воды залегают на глубине 90–120 см.

В группе солодей темногумусовых на поверхности сформирован хорошо оструктуренный темногумусовый (AU) горизонт, подстилаемый осветленным элювиальным горизонтом (EL) с плитчатой структурой и обилием железо-марганцевых конкреций (10–15 % от S среза горизонта), составляющих в диаметре 3–4 мм. Ниже следует неоднородный по цвету, более плотный чем вышележащий переходный горизонт (BEL) с обильными железистыми и железо-марганцевыми конкрециями диаметром до 6 мм, подстилаемый текстурным горизонтом (BT) с прочной многопорядковой ореховатой структурой, наличием глинистых и гумусово-глинистых пленок по граням педов, железо-марганцевыми конкрециями (до 8–10 % от S среза горизонта) и железо-марганцевыми примазками (15 % от S среза горизонта). С глубины 130–170 см отмечается вскипание почвенной массы при реакции с 10 %-ой HCl.

Таким образом, почвы исследованных трех групп могут образовывать генетический ряд, в котором происходит усиление процессов текстурной дифференциации почвенного профиля и ослабление выраженности процессов оглеения от перегнойно-гумусовых к солодам перегнойно-гумусовым глеевым и солодам темногумусовым.

Далее были выявлены и охарактеризованы основные черты микроморфологического строения трех групп почв. Верхние горизонты почв отличаются степенью проработки органического материала и количеством углефицированных растительных остатков (у.р.о.) (индикаторы переувлажнения). В перегнойно-гумусовых глеевых в горизонте АН гумус имеет точечный характер распределения; в солодах перегнойно-гумусовых глеевых (горизонт АН) – сгустковый; солодах темногумусовых (горизонт AU) – агрегированный. В почвах первой и второй групп, в отличие от почв третьей группы, диагностировано большее количество растительных остатков, в том числе, у.р.о.

Группы почв различаются по выраженности и составу редоксиморфных новообразований: пропиточных форм, зон обеднения и зон с аккумуляцией минерального материала. К первым относятся нодули и кутаны, ко вторым — участки с пониженным содержанием элементов/вещества, к третьим — натечные глинистые кутаны.

В перегнойно-гумусовых глеевых с 25–35 см вокруг биогенных каналов встречаются органо-железистые гипокутаны и зоны обеднения железом и глиной. С 40–50 см появляются железистые нодули с чёткими границами, максимум которых отмечается на глубине 60–70 см. В более глубоких горизонтах границы диффузные, нодулей меньше. С 80–90 см в их составе появляется марганец, что указывает на длительное переувлажнение; его отсутствие в верхней части профиля и появление в самых нижних горизонтах свидетельствует о длительном протекании восстановительных процессов, вызванных переувлажнением.

В солодах перегнойно-гумусовых глеевых железистые и железо-марганцевые нодули и гипокутаны встречаются в горизонте EL (20–32 см). Ниже их количество уменьшается, границы становятся размытыми. В горизонте BT преобладают пропиточные новообразования, содержащие марганец и приуроченные к зонам обеднения железом и глиной.

В солодах темногумусовых пропиточные образования фиксируются в горизонте EL (23–33 см) и встречаются чаще, чем в переходной группе почв. Нодули железо-марганцевые и марганцевые, максимум их содержания отмечен в горизонте BEL. В нижней части

профиля количество нодулей резко сокращается. Характерна преобладающая роль марганцевых новообразований.

Третьим важным отличием групп почв является наличие и выраженность в пределах профилей интрузивных новообразований, представленных кутанами. В перегнойно-гумусовых глеевых почвах кутаны либо не выражены, либо являются единичными и довольно тонкими, что указывает на отсутствие процесса лессиважа. В срединном горизонте солодей перегнойно-гумусовых глеевых встречаются тонкие глинистые и железо-глинистые кутаны по граням округлых блоков. В солодах темногумусовых натечные формы кутан представлены наиболее обильно: встречаются многослойные и скорлуповато-слоистые кутаны.

Данные субмикроморфологического анализа, проведенного на СЭМ, подтверждают качественные данные микроморфологических описаний. Отмечается абсолютное преобладание железа над марганцем в плотных стяжениях глеевых горизонтах перегнойно-гумусовых глеевых почв. Марганец встречается в незначительных количествах (0,26-0,27% от общего веса) в нескольких образцах. В солодах перегнойно-гумусовых глеевых в конкрециях марганец содержится в большем количестве (в диапазоне 0,52-23,99 %). В профильной дифференциации в горизонте ВТ содержание железа и марганца в новообразованиях максимально, а в горизонте ЕL минимально. В солодах темногумусовых в большинстве случаев содержание марганца преобладает (концентрация изменяется от 0,37 до 48,9 %).

На основании полученных данных можно судить о более длительном переувлажнении перегнойно-гумусовых глеевых почв, приводящему к вымыванию марганца почвенными растворами вглубь профиля и формированию зон обеднения железом и глиной. В данных почвах процесса переноса илистого материала не происходит.

Солоди перегнойно-гумусовые глеевые подвержены влиянию как поверхностного, так и грунтового увлажнения. Наличие горизонта ЕL с обильным содержанием железистых и меньшим железо-марганцевых нодулей указывает на поверхностное переувлажнение. В горизонте ВТ сочетаются пропиточные редоксиморфные новообразования и зоны обеднения. Наличие вторых свидетельствует о более длительном периоде затопления, чем в верхних горизонтах. Нижние горизонты формируются при грунтовом оглеении. Наличие тонких кутан указывает на неинтенсивно протекающий процесс лессиважа.

Солоди темногумусовые подвержены процессам поверхностного переувлажнения. Об этом говорит наличие пропиточных редоксиморфных форм в горизонте ЕL, в составе которых преобладает марганец. Смена процессов увлажнения и иссушения профиля протекает резко, что отражается в резкости границ нодулей. Зоны обеднения с горизонта ВТ и далее вглубь профилей не наблюдаются, что позволяет судить об отсутствии влияния грунтовых вод. Процесс лессиважа протекает наиболее активно, что приводит к дифференциации профилей по содержанию илистой фракции.

Заключение

В пределах западин юга лесостепи Окско-Донской низменности формируются три генетические группы почв, различающиеся продолжительностью и основным источником почвенного переувлажнения и проявлению процесса лессиважа, образуя ряд от (1) перегнойно-гумусовых глеевых почв к (2) почвам переходной группы с явными признаками грунтового переувлажнения и слабо выраженной текстурной дифференциацией и к (3) почвам с выраженным накоплением ила в средней части профиля и со слабыми признаками гидроморфизма.

Гидрологический режим является ключевым фактором дифференциации свойств почв; перегнойно-гумусовые глеевые формируются в условиях длительного грунтового

переувлажнения, почвы переходной группы формируются при смешанном грунтово-глеевом увлажнении, почвы с явно выраженной текстурной дифференциацией формируются в условиях поверхностного переувлажнения.

УДК 631.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ ПОЧВ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Кудреватых И.Ю., Митенко Г.В., Малышев В.В., Калинин П.И.

ФИЦ ПНЦБИ РАН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, averkieva25@rambler.ru

Почва представляет собой сложную систему высоко- и низкомолекулярных органических и неорганических веществ, поэтому для понимания процессов почвообразования важным является выявление механизмов их поведения. Элементарные почвенные частицы объединяются во фракции гранулометрических элементов, которые различаются между собой не только размером, но и природой, химическим и минералогическим составом.

Интерес к выделению и изучению фракций обусловлен тем, что именно на этом уровне происходят основные превращения веществ в почвах. Применение метода ИК-спектроскопии позволяет выявить не только характерные особенности фракционного состава почвы, но и оценить направленность их трансформации под влиянием различных факторов. Целью данного исследования было изучение методом ИК-спектроскопии вещественного состава гумусо-аккумулятивного горизонта (0-10 см) и почвообразующей породы (150-175 см) чернозема, каштановой и бурой полупустынной почв, разделенных на гранулометрические фракции (<2, 2-5, 5-10, 10-50, 50-250 и >250 мкм) методом диспергирования. Для регистрации спектров ИК полос поглощения использован метод прессования твердого вещества в иммерсионной среде KBr (199 KBr + 1 почва, мг).

Спектры пропускания слоев осажденных частиц регистрировали в диапазоне волновых чисел $\nu = 4000 \dots 400 \text{ см}^{-1}$ с помощью ИК спектрометра «Thermo Nicolet 6700».

В результате исследования выявлено, что ИК спектры фракций <2, 2-5, 5-10, 10-50, 50-250 и >250 мкм имели следующий набор пиков: 3600, 3700, 3420, 1630, 1157, 1164, 1090, 1031, 874, 799, 779, 694, 528 и 472 см^{-1} . Во фракциях <2 и 2-5 мкм присутствуют пики 3600 и 3700 см^{-1} , отражающие валентные колебания группы О–Н в глинистых минералах, которые становятся слабее при увеличении размера фракции и совсем исчезают во фракциях 50-250 и >250 мкм. Так же ИК-спектры фракции 50-250 и >250 мкм не имеют полос поглощения в областях $1070\text{--}1030$ и $945\text{--}910 \text{ см}^{-1}$, присущих глинистым минералам. В переходных фракциях (5-10, 10-50 и 50-250 мкм) присутствуют пики 1442 и 874 см^{-1} , характерные для карбонатов, и пик 1612 см^{-1} с уступом 1165 см^{-1} , характерных для некоторых видов сульфатов. Пики $2900\text{--}3000 \text{ см}^{-1}$, которые относят к колебаниям CH_3 и CH_2 гуминовых и фульвокислот, регистрируются слабо и чаще присутствуют в спектрах фракций <2 и >250 мкм. Этот факт можно объяснить тем, что в почве достаточно низкое содержание органики по сравнению с другим вещественным составом и наблюдается перекрытие поглощения минеральных и органических функциональных групп.

Характерной особенностью является то, что во фракциях размерностью <2, 2-5 и 5-10 мкм основной пик отмечается в диапазоне $1000\text{--}1200 \text{ см}^{-1}$, который часто объясняют влиянием гидроксильных групп вторичных спиртов и углеводов ($1094\text{--}1086 \text{ см}^{-1}$), Si–O кварца (1164 см^{-1}) и Si–O глинистых минералов (1057 см^{-1}). При укрупнении фракций эта полоса поглощения снижает интенсивность и теряет пик 1057 см^{-1} .

В результате сравнения ИК спектров чернозема, каштановой и бурой полупустынной почв показано, что валовый образец бурой полупустынной почвы имеет самые низкие значения площади пиков по сравнению с черноземом и каштановой почвой. В основном набор пиков в валовых образцах изученных почв сходный, за исключением наличия у черноземов пиков 2928 см^{-1} (колебание групп CH_3 и CH_2) и 720 см^{-1} (чаще всего отражает деформационные колебания ароматических групп CH). Исследование фракционного

состава чернозема и каштановой почвы показало, что фракции <2, 2-5, 5-10, 10-50 имеют одинаковый набор пиков в слое 0-10 см и почвообразующей породе, но в последней площадь пиков выше. Наиболее интенсивные полосы поглощения были выявлены в области связи Si-O в диапазоне 1100-1000 см⁻¹. В слое 0-10 см фракции <2 выше по сравнению с породой пик 1640 см⁻¹ (колебания амидов, характерные для гуминовых кислот, обогащенных N, с развитыми периферическими цепями с низким C и с невысокой степенью бензоидности). Для этих двух типов почв выявлено, что во фракциях 50-250 и >250 больше площадь пиков в слое 0-10 до 1600 см⁻¹, а после - в слое 150-170 см. Для фракции >250 в породе выявлены очень сильные пики 1440 см⁻¹ (деформационные колебания -CH₂- в -CH₂- характерные для CaCO₃, MgCO₃), 1740 см⁻¹ (карбонильная группа C=O, входящих в состав карбоксильной группировки карбоновых кислот – COOH), 2500 см⁻¹ (связанная OH группа), а в слое 0-10 выше полоса поглощения 3000-2800 см⁻¹ (ее слабая интенсивность подтверждает, что у гумусовых веществ практически нет длинных углеводородных цепочек, невелика и доля концевых метильных групп), пики 870 и 712 см⁻¹ (чаще всего приписывают деформационным колебаниям ароматических групп СН при различном числе замещенных атомов водорода в кольце). Для бурой полупустынной почвы наблюдаются противоположные тенденции: площадь пиков фракций <2, 2-5, 5-10 выше в слое 0-10 см, за исключением пика 1440 см⁻¹. Так же в слое 0-10 см по сравнению с породой шире набор пиков 3000-2900, 1740 и 1700-1600 см⁻¹. Фракции 50-250 и 250< показали большую площадь пиков в породе, при этом на ИК спектрах пики начинаются с 1800 см⁻¹.

Таким образом, в результате исследования показано, что для всех изученных фракций на ИК-спектрах регистрируются полосы поглощения, принадлежащие кварцу, солям (карбонаты, сульфаты) и гумусовым веществам. При этом на ИК-спектрах фракций 10-50, 50-250 и >250 мкм самые интенсивные полосы поглощения принадлежат гидроксильным группам вторичных спиртов и углеводов и группе Si – O кварца, а на ИК-спектрах фракций <2, 2-5, 5-10 еще и глинистым минералам. По результатам исследования ИК-спектров степных почв установлено, что изучение вещественного состава почв на уровне гранулометрических фракций дает более подробную информацию вещественного состава, чем исследование валового образца. Согласно ИК-спектрометрии анализируемые образцы фракций чернозема и каштановой почвы имеют близкие спектральные характеристики, что обуславливает схожесть их строения и физико-химических свойств, при этом образцы фракций бурой полупустынной почвы показывают другое распределение веществ с более широким набором пиков в слое 0-10 см, которые определяются СО и СН валентными колебаниями.

УДК 631.423.6:631.82

ПОТОКИ УГЛЕРОДА В АГРОЭКОСИСТЕМАХ С МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВАМИ И СИДЕРАТАМИ НА КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ «ЧАШНИКОВО»

Кулачкова С.А., Деревенец Е.Н., Сорокин А.С., Морозова Е.Д., Пронина В.В.
МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, kulachkova_sa@inbox.ru

В последнее время исследование потоков углерода в экосистемах стало особенно актуальным в связи с влиянием углеродсодержащих парниковых газов, CO₂ и CH₄, на климатические изменения. Важную роль в глобальном углеродном цикле играют почвы, занимающие третье место среди основных планетарных резервуаров углерода. Почвы, в зависимости от их свойств и особенностей функционирования, могут выступать активным эмитентом или поглотителем парниковых газов, существенно влияя на их содержание в атмосфере. Увеличение потенциала секвестрации углерода в агропочвах – одна из мер, предлагаемых для предотвращения дальнейших климатических изменений. Этому способствуют технологии углеродсберегающего земледелия, активно разрабатываемые как в нашей стране, так и за рубежом. Традиционно используют травосеяние,

диверсификацию севооборотов и набора выращиваемых культур. Если положительный эффект от сидерации и использования многолетних трав для накопления углерода в почвах и улучшения физических свойств почв широко известен, то сведений о потоках диоксида углерода и метана в травянистых агроэкосистемах еще недостаточно, что обуславливает актуальность их получения.

Объектом исследования выступили агроэкосистемы с однолетними и многолетними травами на карбоновом полигоне Московской области «Чашниково». Агроэкосистемы с однолетними травами были представлены участками с горчицей белой (*Sinapis alba* L.) и вико-овсяной смесью (*Vicia sativa* L. и *Avena sativa* L.) в соотношении 70:30, с многолетними – бобово-злаковыми травами 3-го года использования (люцерна серповидная (*Medicago falcata* L.), люцерна посевная (*Medicago sativa* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), клевер гибридный (*Trifolium hybridum* L.), костер безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub)) и посадками гибрида мискантуса гигантского (*Miscanthus × giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodk. & Renvoize) трехлетнего возраста. Почвы агродерново-подзолистые среднепахотные среднесуглинистые.

Полевые исследования проводились в июне–августе 2024 года. Потоки парниковых газов (ПГ) из почв — эмиссию CO₂ и поглощение CH₄ — определяли портативной камерой для измерения почвенного газообмена Smart Chamber Li-Cor с помощью лазерного мобильного газоанализатора Li-7810 (Li-Cor, USA) после предварительного удаления надземной части растений. Параллельно с потоками ПГ измеряли температуру почв (0–10 см) электронным термометром HI98501 Checktemp Hanna Instruments и влажность почв — термостатно-весовым методом. Рассчитывали потенциальную микробную продукцию CO₂ по величине базального дыхания почв, определенного кинетическим методом. Надземную фитомассу оценивали методом укусов, выражали в абсолютно сухой массе на метр квадратный. Подземную фитомассу определяли путем отмывания корней из почвенных монолитов. Содержание общего углерода и азота в почвах и растениях устанавливали методом сухого сжигания на элементном анализаторе ECS 8024 (NC Tech, Италия). Почвы исследованных участков на протяжении всего лета выступали стоком атмосферного метана с медианными значениями интенсивности от 0,15 до 0,62 мг C·м⁻²·сут⁻¹. Наибольшее суммарное поглощение метана за лето наблюдалось в почвах под мискантусом – 0,047 г C·м⁻², статистически значимо снижалось в 1,6 раз в почвах под вико-овсяной смесью, в 1,8 раз — под многолетними травами и в 2,2 раза — под горчицей. Анализ главных компонент выявил вклад в дисперсию данных поглощения метана влажности, температуры, pH, содержание C и N, а также типа выращиваемой культуры.

Образование CO₂ почвами за счет микробного дыхания значимо различалось под однолетними и многолетними культурами: под сидератами оно было ниже, чем под мискантусом и многолетними травами. Рассчитанная за летний период величина потенциальной микробной продукции CO₂ слоем почв 0–30 см составила 491,5 г C·м⁻² на участке под паром, 508,0 г C·м⁻² — под горчицей, 510,3 г C·м⁻² — под вико-овсяной смесью, 622,4 г C·м⁻² — под многолетними травами и 694,9 г C·м⁻² — под мискантусом. В том же ряду запасы углерода органического вещества почв в слое 0–30 см составляли: 59,4 т·га⁻¹, 84,7 т·га⁻¹, 59,8 т·га⁻¹, 83,4 т·га⁻¹ и 83,4 т·га⁻¹.

Эмиссия CO₂ почвами изменялась следующим образом: под паром и сидератами она статистически значимо увеличивалась от июня к июлю и снижалась в августе, под многолетними травами не отличалась с июня до начала августа и уменьшалась в конце августа, под мискантусом не отличалась в июне–июле и значимо снижалась в августе.

Корреляционный анализ выявил положительную умеренную связь эмиссии CO₂ с влажностью почв ($r_s = 0,44$, $n=84$, $p < 0,05$), слабую с pH ($r_s = 0,29$, $n=84$, $p < 0,05$) и микробной продукцией CO₂ почвами ($r_s = 0,30$, $n=84$, $p < 0,05$). Анализ главных компонент показал, что эмиссия CO₂, влажность, температура, pH, плотность, содержание C и N в

почве были тесно связаны с основной вариацией данных (имели высокие нагрузки на первую главную компоненту). Вторая главная компонента описывает дополнительную вариацию данных, связанную с типом культуры. В отличие от анализа данных с потоками метана, в случае с данными эмиссии диоксида углерода температура и тип культуры играют более значительную роль в разбросе данных.

Суммарная интенсивность эмиссии CO_2 почвами за лето была максимальной под многолетними травами — $927,6 \text{ г С м}^{-2}$, уменьшалась под мискантусом — $835,9 \text{ г С м}^{-2}$, вико-овсяной смесью — $737,4 \text{ г С м}^{-2}$ и горчицей — $476,6 \text{ г С м}^{-2}$. Повышенная эмиссия CO_2 почвами под многолетними культурами обусловлена более активным корневым дыханием при формировании статистически значимо большей подземной фитомассы, чем у сидератов.

Надземная фитомасса мискантуса гигантского была более чем в 2 раза выше в сравнении с другими растениями.

Было рассчитано количество углерода, который накапливается в надземной и подземной фитомассе за летний период, которое сравнили с количеством углерода, эмитированного в атмосферу в виде CO_2 в результате почвенного дыхания. Суммарно за период вегетации накопилось: $536,0 \text{ г С м}^{-2}$ в фитомассе горчицы белой, $735,9\text{--}755,3 \text{ г С м}^{-2}$ в бобово-злаковых многолетних травах и вико-овсяной смеси, $2157,7 \text{ г С м}^{-2}$ — в мискантусе (рис.1). То есть для сидератов запасы углерода в фитомассе практически равны количеству углерода, эмитированного почвой. Мискантус накапливает углерода в 2,6 раза больше, чем выделяется из почвы. Для многолетних трав было установлено преобладание почвенной эмиссии CO_2 над фиксацией углерода в растениях по медианным значениям, но высокое варьирование запасов углерода в фитомассе требует дальнейших уточнений.

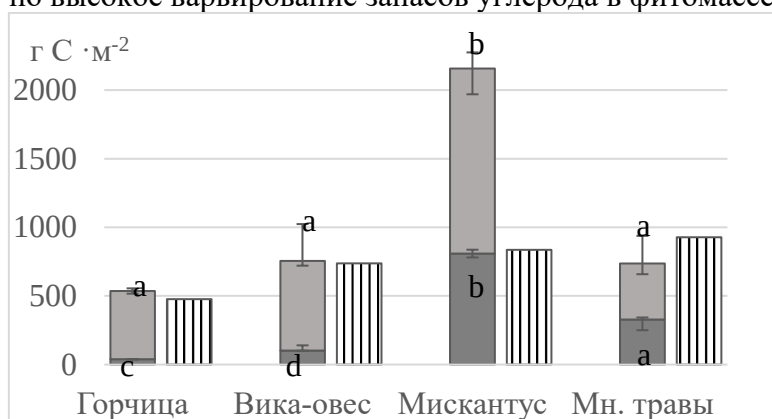


Рис. 1. Соотношение накопления углерода в фитомассе различных трав и почвенной эмиссии за летний период:

■ — надземная часть растений, ■ — подземная часть растений, ▨ — почвенная эмиссия C-CO_2 . Таким образом, исследованные агродерново-подзолистые почвы выступали слабым стоком атмосферного метана и эмитировали диоксид углерода в количестве меньшем или сопоставимом с накоплением углерода в фитомассе сидератов и многолетних травянистых культур. Проведенная оценка потоков углеродсодержащих парниковых газов из почв и улавливания атмосферного диоксида углерода при возделывании однолетних сидеральных и многолетних травянистых культур может быть полезной для разработки рекомендаций по оптимизации севооборотов на территории Московской области с целью снижения эмиссии парниковых газов и повышения секвестрации углерода агроэкосистемами.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова (тема № 121040800147-0 «Почвенные информационные системы и оптимизация использования почвенных ресурсов») и Программы создания и функционирования карбонового полигона Московской области «Чашниково». Измерения

потоков парниковых газов проводились на оборудовании ЦКП МГУ «Карбоновая долина».

УДК 631.46

БИОСФЕРНЫЕ ФУНКЦИИ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ

Курганова И.Н.¹, Лопес де Гереню В.О.¹, Телеснина В.М.², Самбуу А.Д.³, Мерино А.⁴, Филимоненко Е.А.⁵, Самохина Н.П.⁵, Смоленцева Е.Н.⁶, Журавлева А.И.¹, Волкова Т.Ю.¹, Митрохина Е.С.¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, e-mail ikurg@mail.ru;

²Факультет Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail ytelesnina@mail.ru;

³Центр биосферных исследований Республики Тыва, Кызыл, e-mail sambuu@mail.ru;

⁴Университет Сантьяго де Компостела, Луго, Испания e-mail agustin.merino@usc.es;

⁵Университет Сириус, федеральная территория «Сириус», e-mail efilimonenko@mail.ru;

⁶Институт Почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, e-mail parabraunerde@rambler.ru

Площадь залежных (посагrogenных) угодий в мире превышает 220 млн га, и их роль в оздоровлении почв и биосферы в целом значительна. Экологические преимущества залежных экосистем включают: восстановление почв и растительности; увеличение растительного и микробного разнообразия; аккумуляцию углерода в растениях и почвах; смягчение климатических изменений. Мировое научное сообщество признает, что постагrogenные экосистемы, несмотря на широкое распространение во всем мире, остаются одними из наименее лимитированных поглотителей углерода на суше. Оценить их роль в восстановлении природного запаса углерода планеты необходимо для лучшего понимания их пространственного и временного наследия для биосферы. Цель исследований включала оценку постагrogenной динамики растительности, запасов и фракционного состава почвенного органического вещества (ОВ), микробной и ферментативной активности почв в различных биоклиматических зонах России – южно-таежной, широколиственных лесов, лесостепи и степи.

Исследования проводили в разные годы методом хронорядов на контрастных типах почв: дерново-подзолах (подзона южной тайги, Костромская обл.), серых почвах (зона широколиственных лесов, Московская обл. и зона лесостепи, Иркутская обл.), черноземах разных подтипов (зона лесостепи, Новосибирская обл., подзона настоящих степей, Алтайский край и республика Тыва и подзона сухих степей, Ростовская обл.). В европейской части России климат во всех регионах относится к умеренно-континентальному, а в азиатской – к резко-континентальному. В каждой биоклиматической зоне хроноряды включали современную пашню, залежи разного возраста и естественный ценоз. На каждом из выбранных участков закладывали разрезы для морфологического описания и определения плотности почв на глубинах 0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см. На расстоянии не менее 20 м от основного разреза в трех локациях, удаленных друг от друга на расстоянии 30–50 м, закладывали по 3 прикопки, глубиной 40–50 см, в которых из тех же метрических слоев отбирали смешанные образцы почв. В образцах определяли общие свойства почв (pH_{H_2O} , pH_{KCl} , наименьшую влагоемкость (НВ), содержание Сорг и Нобщ, отношение C/N), микробные свойства (скорость базального дыхания (БД) и содержание C в микробной биомассе (Смик)), а также экофизиологические параметры (БД/Смик, БД/Сорг и др). В дерново-подзолах Костромской области, серых почвах Московского региона и черноземах обыкновенных в республике Тыва в почве на глубине 0–5 см определяли активность гидролитических ферментов методом флюороген-меченных субстратов. В почвах некоторых хронорядов проводили денситометрическое, термическое и биокинетическое фракционирование ОВ и применяли метод ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) для изучения химического состава

Сорг. Для почв на глубине 0–20 см во всех изученных хронорядх были оценены запасы Сорг и скорости его накопления в ходе залежной сукцессии, а также рассчитаны коэффициенты стратификации ОВ.

Показано, что в ходе постагрогенного восстановления в подзоне южной тайги на дерново-подзолах в верхней части старопахотного горизонта (0–5 и 5–10 см) наблюдается значимый рост содержания Сорг и Нобщ, а также усиление стратификации их распределения в пределах старопахотной толщи, особенно после образования сомкнутого древостоя на бывших пахотных почвах. Постагрогенная сукцессия способствует росту скорости базального дыхания и содержания микробной биомассы, максимальные значения которых чаще всего были зафиксированы в почве 40-летнего мелколиственного леса. По мере естественного лесовосстановления на бывших пахотных почвах выявлено достоверное усиление фосфатазной активности в пределах всего старопахотного горизонта. Пики активности оксиредуктаз соответствуют стадиям сукцессии с максимальным поступлением легкоразлагаемого растительного опада. За 40 лет постагрогенной сукцессии наблюдается статистически значимое увеличение всех анализируемых показателей и на всех рассматриваемых глубинах старопахотного слоя, однако их наибольший ежегодный прирост отмечается на глубине 0–5 см, который более других обогащен ОВ.

Серые почвы широколиственной зоны с более низким содержанием Сорг по сравнению с черноземами обыкновенными сухой степи имели гораздо более высокий относительный прирост содержания Сорг (134%) в ходе постагрогенной эволюции по сравнению с черноземами, где прирост Сорг составил 38%. Прирост Сорг был зафиксирован во всех классах органических соединений, выявленных методами ЯМР и термического анализа, однако повышение стабильных фракций Сорг было более выраженным в постагрогенных черноземах, чем в серых почвах. Черноземные почвы сухих степей в процессе постагрогенного развития характеризовались более высокой алифатичностью и ароматичностью Сорг, чем серые почвы широколиственного леса. Микробная активность и содержание биоразлагаемых форм Сорг постепенно увеличивались в ходе постагрогенной сукцессии.

На примере постагрогенных серых почв зоны лесостепи Восточной Сибири изучали энергетический статус и термическую стабильность углерода в общей массе ОВ почвы, в свободном и окклюдированном дисперсном органическом веществе (fPOM и oPOM), а также в минеральноассоциированном органическом веществе (MAOM). В залежных почвах термически лабильный С накапливался в 2.8 раза быстрее, чем стабильный С. При этом термостабильное ОВ имело в 2 раза более высокий энергетический барьер окисления по сравнению с термически лабильным. Термолабильное ОВ являлось более легко разлагаемым микроорганизмами за счет его более доступной энергии, что обеспечивает рост микробной активности и приводит к более быстрому круговороту С и питательных веществ в почвах залежей по сравнению с современной пашней. Фракция MAOM имела энергетическую емкость в 1.7 раза больше, чем свободные и окклюдированные фракции. Доминирующим энергетическим резервом для лабильного С и микробного сообщества в ходе восстановительной сукцессии была фракция fPOM.

Для чернозёмов обыкновенных и выщелоченных лесостепной зоны юга Западной Сибири была оценена стабильность ОВ по мере их постагрогенного восстановления с использованием параметра энергетического барьера термического окисления Сорг. Энергетический барьер окисления ОВ – энергия активации (Ea) снижалась при восстановлении почв за счет более быстрого накопления термически лабильного Сорг, который имеет более низкую Ea. В сочетании с большей энергетической емкостью термолабильного ОВ оно является приоритетным источником энергии для микроорганизмов и обеспечивает рост микробной активности в постагрогенных почвах по сравнению с действующими пашнями.

На основе комплексного анализа различных по доступности к микробному разложению пулов органического углерода, ферментативной и микробной активности чернозема обыкновенного в условиях настоящей степи (республика Тыва) под пашней, залежью и целиной выявлены существенные различия в структуре ОВ почв и ее ферментного пула. Показано, что залежные почвы на черноземе обыкновенном за 27 лет восстановительной сукцессии не достигли уровня целинной почвы ни по одному из анализируемых свойств. Несмотря на то, что содержание Сорг увеличилось в ходе постагрогенного развития во всех изученных типах почв, механизмы секвестрации и стабилизации углерода зависели от климата, растительности и степени деградации пахотных почв во время их сельскохозяйственного использования. Максимальное содержание ОВ было характерно для почв, сформированных под естественными лесными ценозами и целинными степными участками, и имело прямые последствия для активизации микробной деятельности, кругооборота и секвестрации углерода.

На примере хроноряда серых почв в зоне лесостепи Иркутской области и черноземов степной зоны республики Тыва были выявлены свойства, которые имеют более высокую/низкую скорость изменения на фоне роста содержания углерода в процессе залежной сукцессии.

Таким образом, мы заключаем, что в процессе постагрогенной эволюции происходит последовательное увеличение запасов углерода в бывшем пахотном горизонте всех изученных типов почв. Более выраженный рост содержания углерода в результате забрасывания пахотных земель наблюдается в верхних 5 см почвы за счет увеличения поступления свежих растительных остатков и корневой фитомассы. В ходе постагрогенной сукцессии наблюдается заметное усиление стратификации содержания Сорг в почве на глубине 0–20 см, свидетельствующее о восстановлении углерод-секвестрирующей и климаторегулирующей функции почв в ходе постагрогенной эволюции. Содержание углерода увеличивается во всех денсиметрических и различных по термической устойчивости фракциях ОВ. Восстановление естественной растительности в ходе сукцессии приводит к заметному росту микробной и ферментативной активности преимущественно в самом верхнем слое почвы. Рост разнообразия ферментов обеспечивается увеличением разнообразия и доступности органических субстратов в постагрогенных почвах.

Академик Г.В. Добровольский в 2003 г. в работе «Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере» отмечал, «... что сельскохозяйственное использование почв сокращает биоразнообразие, но это явление не связывают с изменением набора и степени проявления экологических функций почв. Как ни велико значение почвы в качестве основы сельского хозяйства, все же оно составляет лишь часть той незаменимой экологической роли, которую играет почва в биосфере и жизни человека». Наши исследования, проведенные на разных типах почв, показали, что после снятия сельскохозяйственной нагрузки, почвы «оздоравливаются», а биосферная функция залежных земель сводится не только к восстановлению растительного и микробного биоразнообразия, но и к секвестрации углерода как в лабильных, так и в долгоживущих пулах ОВ. И если первый – поддерживает жизнедеятельность микробного сообщества, предоставляя ему питательный и энергетический ресурс, то второй – выступает долговременным резервуаром углерода, смягчая тем самым климатические изменения на планете.

Работа выполнялась в рамках государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № 123030300031-6), проекта «Устойчивость и функции почвенного углерода в агроэкосистемах России (CarboRus)», № 075-15-2021-610, государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (Соглашение №18-03 от 10.09.2024).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОФИЛЯХ ПОЧВ С ТЕХНОГЕННЫМИ, СТРАТИФИЦИРОВАННЫМИ И ПОГРЕБЕННЫМИ ГОРИЗОНТАМИ

Липатов Д.Н.¹, Борков С.А.¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: lipatovdn@my.msu.ru

Почвенный покров в техно- и урболандшафтах значительно изменен по сравнению с природными, включает не только естественные почвы, в различной степени нарушенные техногенными процессами, но и почвоподобные образования, а также квазиземы, урбаноземы, техноземы, реплантаземы. Формирование многих из них происходит из разнородных почвенных слоев, которые перемещаются, насыпаются, смешиваются, уплотняются, загрязняются в ходе земляных, строительных, эксплуатационных и рекультивационных работ. Вследствие этого в техно- и урбо-почвах распространены стратифицированные и погребенные горизонты, состав и свойства которых в значительной степени обусловлены антропогенными факторами и отражают условия почвообразования на предыдущих стадиях трансформации этих ландшафтов. Уровни удельной активности естественных радионуклидов (ЕРН) в профилях почв во многом определяются их содержанием в почвообразующих породах. Распределение техногенных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr связано с поступлением на поверхность почвы глобальных и чернобыльских радиоактивных выпадений. Анализ распределения ^{137}Cs в верхних слоях почв успешно используется для трассирования процессов водной и ветровой эрозии. Изучение удельных активностей основных дозообразующих радионуклидов в техногенных, стратифицированных и погребенных горизонтах является актуальной задачей в радиоэкологических и почвенных исследованиях. Цель проводимых исследований – рассмотреть радионуклиды в качестве возможных трассеров некоторых техногенных материалов и процессов в профилях почв на загрязненных и фоновых промышленных и городских территориях.

В качестве объектов исследования выступали профили почв, опробованные в загрязненном чернобыльскими выпадениями городе Новозыбкове (Брянская область), на территории радиационного инцидента в городе Электросталь, в промышленных и селитебных зонах Москвы и Люберецкого района Московской области, а также на нефтедобывающих территориях Сахалинской области. В лабораторных условиях отобранные почвенные пробы высушивались, гомогенизировались, в них измеряли удельную активность естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и техногенного ^{137}Cs на сцинтилляционном гамма-спектрометре «МУЛЬТИРАД» (Россия) с детектором NaI(Tl) (ООО «НТЦ Амплитуда», Россия) и спектрометре-радиометре гамма-излучения МГКБ-01 «Радэк» с блоком детектирования БДЕГ-63 NaI(Tl) (ООО «НТЦ РАДЭК», Россия).

В исследованных техно- и урбо-почвах зафиксированы стратифицированные и техногенные горизонты различного происхождения. В городских экосистемах наиболее распространены урби-стратифицированные (UR) горизонты, представленные, как правило, насыпными слоями почво-грунтов разного возраста, в которых обнаруживается много включений бытовых и строительных отходов. Такие почвы обычно относят к урбаноземам, урбастратаземам и урбиквазиземам (Прокофьева и др., 2014). Если мощность урби-стратифицированного слоя небольшая, то его выделяли вместе с более мощным нижележащим природным горизонтом, например, в качестве A_{Yur}, B_{ur}, C_{ur}, а почвы относили к своему природному типу (дерново-подзолистая, бурозем или др.) с добавлением классификатора урбик.

В урби-стратифицированных горизонтах удельная активность естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) может значительно отличаться от значений, характерных для нижележащих природных горизонтов, сформированных из почвообразующей породы. В этом случае в профильном распределении отмечается выраженный градиент удельной активности того или иного радионуклида при переходе от стратифицированного горизонта к нижележащей природной толще почвы. Насыпные слои обычно формируются из привозных природных грунтов, которые представлены различными горизонтами

других почв этого региона. Для большинства таких стратифицированных горизонтов был характерен более легкий гранулометрический состав и уменьшенные значения удельных активностей ^{40}K и ^{232}Th . Минимальные значения удельной активности ^{40}K (менее 200 Бк/кг) и ^{232}Th (менее 10 Бк/кг) отмечены в стратифицированных горизонтах с преобладанием кварцевых песков в промышленной зоне города Электросталь. Однако в качестве насыпных урби-стратифицированных горизонтов могут использоваться флювиогляциальные и аллювиальные супесчаные отложения, некоторые моренные суглинки, в которых в ряде случаев отмечались повышенные уровни удельной активности ^{226}Ra и ^{232}Th .

При высокой доле включений строительных отходов (более 20–30 % от массы почвы) их состав будет оказывать заметное влияние на химические и радиологические свойства таких почвенных горизонтов. Так, в почвах старых селитебных зон Москвы в урби-стратифицированных горизонтах с повышенным содержанием осколков кирпичей и щебня отмечалось увеличение удельной активности ^{226}Ra до 35–50 Бк/кг.

Профили с большой мощностью стратифицированных горизонтов относятся к техногенным поверхностным образованиям (ТПО). Они могут иметь различное происхождение: насыпные природные, антропогенные, техногенные, промышленные, намывные. В некоторых профилях выделяются слои плотных техногенных материалов: асфальта, бетона, цемента, битума, обработанных или дробленных камней, щебня, промышленных (золы, шлаки, шламы) и строительных отходов, такие горизонты диагностируются в качестве техногенных (ТСН). На промышленных участках в случае сильного загрязнения нефтепродуктами и другими веществами, могут происходить резкие морфологические изменения почвы, и такие трансформированные горизонты относят к химически преобразованным (Х, Вх, Сх), а почвы – к хемоземам (Герасимова и др., 2003). Распределение естественных радионуклидов по профилям техногенных почв и поверхностных образований неоднородно и зависит от минералогического состава сформировавших их грунтов. Плотные техногенные материалы формируют следующий ряд по увеличению удельной активности естественных радионуклидов: дерево < известняк (кирпич известковый) < гипс < песок < асфальт < гравий < кирпич красный глиняный < гранитный щебень < золошлаки < металлургические шлаки. В хемоземах на нефтедобывающих территориях может происходить увеличение удельной активности ^{226}Ra в почвах вследствие проливов на них минерализованных пластовых вод.

На рекультивированных землях формируются почвы с верхним плодородным компостно-гумусовым или торфо-компостным горизонтом (РАТ), их относят к урбиквазиземам и реплантаземам. Эти рекультивационные горизонты отличаются повышенным содержанием органического вещества, при этом значения удельных активностей естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) в них обычно уменьшены по сравнению с нижележащими минеральными горизонтами.

В исследованных техно- и урбо-почвах часто встречаются погребенные горизонты, которые могут иметь как природное [А, В, С], так и техногенное [ТСН] происхождение. Погребенные горизонты часто используют в качестве диагностических (World Reference Base for Soil Resources, 2022). Такие горизонты в течение первых лет сохраняют свои исходные свойства, но затем претерпевают изменения вследствие своего нового залегания в средней или нижней толще под воздействием внутрипочвенных процессов, характерных для сформировавшегося типа почв.

В исследованном профиле урбиквазизема на погребенной дерново-подзолистой почве (Люберецкий район Московской области) распределение естественных радионуклидов относилось к регрессивно-элювиальному типу. Минимальные значения удельных активностей ^{232}Th и ^{40}K отмечены в поверхностном горизонте АУ_{ur}, а ^{226}Ra – в верхнем урби-стратифицированном горизонте UR1. В средней части этого профиля удельные активности ЕРН постепенно увеличиваются и резко возрастают при переходе к погребенным горизонтам [BEL, BT] дерново-подзолистой почвы. Распределение ЕРН в

верхней толще урбиквазиземов и техноземов связано с антропогенным строением горизонтов, а в более глубоких слоях унаследовано от погребенных природных почв и обусловлено педо- и литогенными факторами. Урби-стратифицированные горизонты UR1, UR2 имели супесчаный гранулометрический состав и низкие значения удельных активностей ЕРН. Верхние урби- стратифицированные горизонты формируются из глубоких слоев почвы, перемещенных на поверхность при проведении земляных работ, или из завезенных плодородных и насыпных грунтов. Поэтому они могут резко отличаться по своим свойствам от генетических горизонтов почв.

Выявленная во многих исследованных урбо- и техно-почвах, статистически значимая положительная корреляция удельных активностей ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , указывает на сопряженность их профильных распределений. Такая взаимосвязь распределений ЕРН может ослабевать в турбированных профилях вследствие смешивания различных горизонтов почвы. Важнейшим фактором, определяющим уровни ЕРН в нижних горизонтах исследованных почв, является район залегания, обуславливающий различия в составе почвообразующих и подстилающих пород, тогда как влияние их типовой принадлежности и ландшафтной приуроченности менее выражено.

На радиоактивно загрязненных территориях в городах Новозыбков (Брянская область) и Электросталь (Московская область) исследовано распределение техногенного радионуклида ^{137}Cs в профилях почв промышленных и селитебных зон. Аэротехногенное поступление ^{137}Cs на поверхность почвы формирует резкие градиенты распределения при переходе от верхних горизонтов к нижележащей толще. Для урбоэкосистем, в которых не проводились дезактивационные и рекультивационные мероприятия, на протяжении многих десятилетий после радиоактивных выпадений сохраняются регрессивно- и равномерно-аккумулятивные типы профильного распределения ^{137}Cs (рисунок, профиль № 3), характерные и для природных ненарушенных почв загрязненных районов. Сходные профили, но при значительном уменьшении уровня загрязнения ^{137}Cs во всех горизонтах, отмечены при высоком качестве рекультивационных работ, когда очистка почв проводилась с помощью снятия и вывоза загрязненного поверхностного слоя (рисунок, профиль № 2).

Равномерное распределение ^{137}Cs в профилях урбиквазиземов во дворах многоэтажных домов города Новозыбкова сформировалось, по-видимому, после снятия и вывоза верхнего загрязненного слоя почвы в ходе дезактивационных мероприятий 1986–1990 гг. (в первые годы после черныбыльских выпадений). Выявленное в промышленной зоне на юге Новозыбкова, резкое увеличение удельной активности ^{137}Cs в глубоком слое почвы 40–50 см указывает на то, что на этом участке могла проводиться засыпка чистых почво-грунтов без снятия загрязненного. В городе Электросталь для урбоквазиземов, на которых проводились земляные и дезактивационные работы, зафиксированы специфичные типы распределения ^{137}Cs , включавшие максимумы в погребенных загрязненных горизонтах (рисунок, профиль № 4) и низкие уровни в поверхностных насыпных слоях (профиль № 1). Такое вертикальное распределение техногенного радионуклида обусловлено насыпным характером верхнего слоя, завезенного в ходе проведения земляных дезактивационных работ в 2013 году, и погребенным состоянием горизонта UR2, который в момент радиоактивных выпадений был поверхностным и остается наиболее загрязненным. Примеры почвенных профилей с загрязненными погребенными горизонтами показывают, что в городских и техногенных ландшафтах, где проводились дезактивационные мероприятия и другие земляные работы, для контроля заглубления техногенных радионуклидов необходимо проводить опробование почвенной толщи 0–50 см.

Техногенные турбационные процессы и перемещение поверхностных почвенных слоев приводят к перераспределению и выносу ^{137}Cs из этих горизонтов. В промышленных и городских ландшафтах зафиксированы низкие значения удельной активности ^{137}Cs в поверхностных горизонтах почв, которые подвергались значительному техногенному

турбированию, перемещению или сформированы при участии насыпных слоев. Распределение удельной активности ^{137}Cs в средних слоях профилей урбиквазиземов связано с различным возрастом их техногенных горизонтов. Даже на фоновых территориях стратифицированные и погребенные почвенные горизонты, которые ранее располагались на поверхности почвы, могут содержать пул ^{137}Cs , поступавший в составе глобальных радиоактивных выпадений в предшествующие периоды, начиная с 1950-х годов. При этом поверхностные горизонты урбиквазиземов, сформированные в последние десятилетия, загрязнены этим радионуклидом в гораздо меньшей степени.

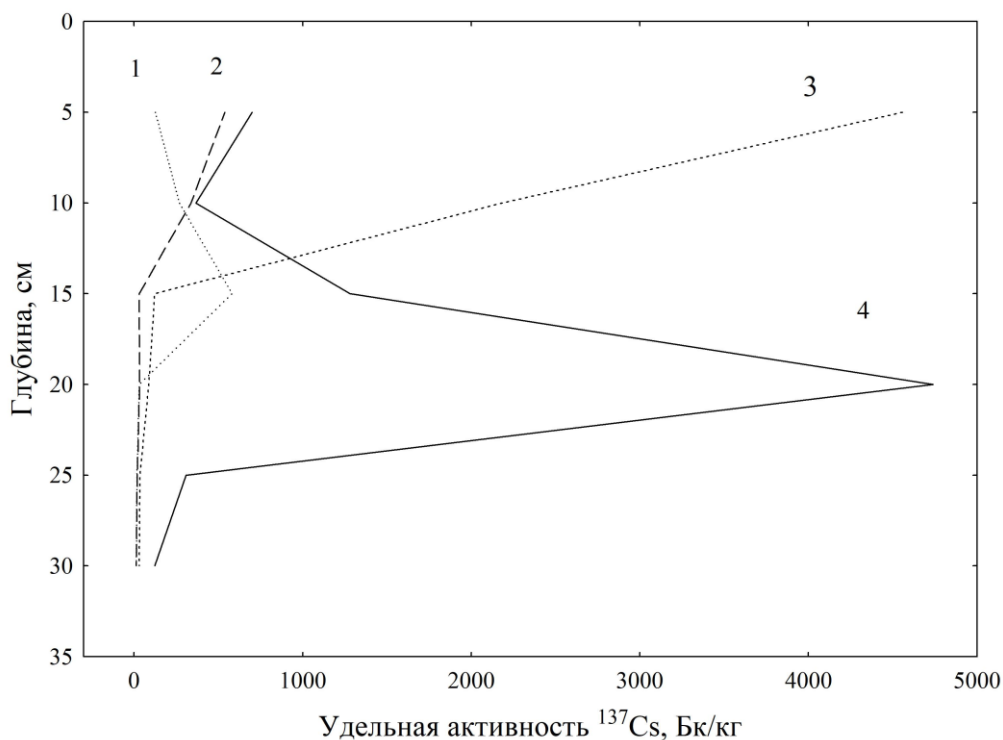


Рисунок. Распределение удельной активности ^{137}Cs в профилях почв урбозкосистем: слабозагрязненных (№ 1, № 2), сильнозагрязненных (№ 3, № 4).

Таким образом, широкие диапазоны варьирования удельных активностей естественных радионуклидов и ^{137}Cs , выявленные в отдельных почвенных профилях, необходимо учитывать при планировании пробоотбора и проведении радиационных исследований в техногенных и урболандшафтах. Распределение ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в профилях техно- и урбо-почв определяется не только литогенными и педогенными факторами, но и уровнями удельной активности этих ЕРН в техногенных материалах и включениях, выделенных в горизонтах UR, ТСН. Радионуклид ^{137}Cs , поступавший в составе глобальных и чернобыльских аэротехногенных выпадений на поверхность почв в различные годы, может трассировать погребенные горизонты в профилях техно- и урбо-почв с целью определения возраста их антропогенной трансформации при реконструкции ландшафтов.

УДК 631.482+631.483

ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОУСТОЙЧИВОСТИ СТЕПНЫХ ПОЧВ

Лисецкий Ф.Н., Хуан Л.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород,
e-mail: liset@bsuedu.ru ; lhhuang0@163.com

Такие сопряженные типы почвенно-деградационных процессов, как агрофизическая и физико-химическая деградации, приводящие к снижению почвенного плодородия, обуславливают увеличение темпов эрозионно-дефляционных процессов, приводящих к дегумусированию, деструктуризации и потере почвы. К ключевым индикаторам структурного состояния агропочв можно отнести соотношение агрегатов с определением агрономически ценной части, водоустойчивость почвенной структуры, а также пористость и механическая прочность агрегатов. Для оценки результатов длительной механической обработки агропочв проводится определение степени деструктуризации (деагрегации) по величине коэффициента структурности с выделением доли агрономически ценных структурных отдельностей (обычно 1-10 мм). Однако с точки зрения устойчивости к деградации физических свойств не все компоненты этой группы сформированы благодаря процессу стойкого физико-химического закрепления коллоидов, что можно установить, определяя водопрочность структуры. Под воздействием механической обработки пахотных почв происходит разрушение микроструктуры, что отражается в увеличении доли фракции менее 0,25 мм в 3-4 раза при мокром просеивании по сравнению с рассевом структурных отдельностей на ситах. Среди факторов, которые обуславливают формирование водоустойчивости структуры, помимо гранулометрического и минералогического состава почв, не меньшим влиянием характеризуется количество и качество почвенного органического вещества (ПОВ). Понимание механизмов сопряженного формирования водоустойчивой структуры и ПОВ в режиме ренатурирования постагрогенных почв и в эталонных (целинных) условиях может послужить научной основой оценки эффективности природоподобных почвовосстанавливающих агротехнологий для ситуаций, диагностирующих плохое или удовлетворительное состояние пахотного (посевного) слоя по содержанию водоустойчивых агрегатов (менее 30 % или 30-50 % соответственно).

Цель работы состояла в сравнительном анализе онтогенетических различных почв по их гумусному состоянию и водоустойчивости агрегатов с привлечением биогеохимических данных, определяющих эффективность механизмов структурообразования.

В целях сравнительного анализа физико-химических различий почв (по структуре, гумусному состоянию, биогеохимическому составу) в идентичных биоклиматических условиях было выбрано три почвенных объекта: 1) достоверно целинная почва (полноголоценовый эталон); 2) позднеголоценовая почва на культурном слое; 3) старозалежная почва со зрелой формацией ковыля.

Район исследования входит в состав Керченского гребне-сопочного степного ландшафта, который развивался в условиях засушливого климата (со среднегодовыми показателями суммы осадков 375-385 мм и температуры воздуха 10,4-11,0 °С) при коэффициенте увлажнения, равным 0,50, что определило формирование петрофитных разнотравно-злаковых степей на короткопрофильных щебнистых почвах чернозёмного типа.

Местоположение целинной почвы (Р. 1) у западной оконечности высокого (30 м) берега бухты Рифов Азовского моря обусловлено невозможностью сельскохозяйственного (кроме выпаса) освоения земель на узком гребне с близким залеганием и частичным выходом на поверхность известняков мезотического яруса неогена. Результатом длительного непрерывного педогенеза стало формирование карболитозёма тёмногумусового (дерново-карбонатной почвы) на маломощном элювии известняка под злаково-крымскопопынной ассоциацией.

Новообразованная среднесуглинистая почва (в 150 м от Р. 1) сформировалась над погребальной камерой, входившей в состав некрополя с погребениями в каменных ящиках, и имела мощность горизонта А 32 см, а общую мощность гумусового горизонта 48 см. Судя по разработанной автором региональной модели зависимости мощности гумусового горизонта в биоклиматических условиях распространения южных чернозёмов от времени, морфологической зрелости почвы с такими параметрами соответствует начало педогенеза, соотносимое с финальным этапом эпохи поздней бронзы.

В 5 км от Р. 1 на степном плато восточного берега оз. Чокрак с ковылем волосовидным (*Stipa capillata* L.) высотой до 95 см определена постагрогенная почва, которая по данным ДЗЗ в 80-х гг. XX в. эпизодически вовлекалась в пашню, а ее почвообразующей породой выступают рыхлые донные отложения светло-коричневого цвета (10 YR 6/3) с содержанием 40 % оксидов кальция (верхний ярус карангатской морской террасы). Содержание макро- и микроэлементов определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа в порошковых пробах. Величины качества почв (SQ_9) и интегрального показателя концентрации тяжелых металлов и металлоидов (TMM_7) были рассчитаны как среднее геометрическое значение. Оценку величины SQ_9 определяли элементы биологического накопления (P, K, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu), а также металлы, которые (наряду с железом) играют значительную роль в образовании органоминеральных соединений (Ca, Al). Формула расчета TMM_7 имела вид: $TMM_7 = (V \times Cr \times Co \times As \times Sr \times Pb \times Ba)^{1/7}$. Коэффициент элювиирования ($K_{эл}$) отражает соотношение концентрации кремнезема к сумме оксидов натрия, калия, магния и кальция. Коэффициент подвижности (K_p) был адаптирован к условиям региона и рассчитывали по соотношению суммы содержания натрия, калия, магния и цинка к содержанию кремнезема. Для получения структурных отдельностей в диапазоне от 2 до 7 мм (2-3,15; 3,15-5; 5-7 мм) воздушно-сухая почва подвергали рассеву на ситах от компании *Fritsch GmbH* с квадратными ячейками. Устойчивость агрегатов к разрушающему действию воды определяли по количеству агрегатов, последовательно (с интервалом в 1 минуту) не распавшихся на протяжении 10 минут. Содержание ПОВ определяли методом Тюрина (ГОСТ 26213-91), подвижного (лабильного) органического вещества – по М.А. Егорову валового азота – по Кьельдалю-Иодельбауэру.

При выборе почвенных объектов предполагалось получить широкий размах величин содержания органического вещества, что позволило бы объяснить роль ПОВ в ожидаемых значительных различиях водопрочности агрегатов. В частности, характерные особенности целинной почвы (Р. 1) были следующие: в верхней части гор. А (0-15 см) коричневого цвета (10 YR 4/3) содержание ПОВ достигало 9,26 %, валового азота – 0,56 % при соотношении C : N = 9,6, лабильного гумуса – 2,9 % с содержанием углерода в нем 1,68 %. Для старозалежной (Р. 3) почвы в верхней части гор. А (0-15 см) серовато-коричневого цвета (10 YR 5/3) содержание ПОВ составило 4,85 %, валового азота – 0,32 % при соотношении C : N = 8,8, лабильного гумуса – 1,09 % с содержанием углерода в нем 0,63 %. Новообразованная почва (Р. 2) в верхней части гор. А (10 YR 5/2.5) уступает двум другим объектам изучения по содержанию ПОВ – 3,38 % и азота – 0,26 % (при соотношении C : N = 7,5), а также лабильного гумуса – 0,83 % с содержанием углерода в нем 0,48 %.

Сравнение второго эталона, расположенного в 2,3 км от Р. 1 – целинной почвы на мысе Зюк (горизонт А, 0-15 см темно-коричневого цвета (10 YR 3/3)), с породой в профиле на глубине 2,8 м (белым (10 YR 8/2) элювием рифовых (мшанковых) известняков мезотического яруса) позволило определить следующий ранжированный убывающий ряд концентраций литогенных элементов: Sr (5,4) > Ca (3,8) > Mg (3,3) > Na (2,1) > (Ni, Cu, S (1,3)) > As (1,2). Что касается объектов сравнения (табл. 1) по отношению к основным литогенным элементам, то новообразованная и залежная почвы в отличие от целинного варианта характеризуются более высоким содержанием натрия (в среднем в 1,9 раза) и магния (в 1,2 раза), а новообразованная – и кальция (в 1,3 раза), при доминирующей роли содержания стронция в целинной почве, что унаследовано от материнской породы. Из 24 определявшихся макро- и микроэлементов в почве второго эталона отмечено более высокое содержание в сравнении с породой (от 1,4 раза и более) 14 химических элементов, из которых те, что характеризуют биологическое накопление, формируют следующий ранжированный ряд: P, Fe (4,8) > K (4,2) > Zn (2,6) > Mn (1,4). Элементы биогенной аккумуляции являются продуктом продукционного процесса и в то же время создают потенциал плодородия, влияющий на приход свежего растительного вещества,

прежде всего, в зоне ризосферы. Судя по величине интегрального показателя качества почв (SQ_9), обеспеченность изучаемых почв элементами биологического накопления последовательно уменьшалась от целинной почвы к новообразованной и залежной.

Таблица 1

Содержание химических элементов в горизонте А и оценочные показатели изученных почв

№ почвы (Р. №)		1	1	2	3
Горизонт, слой	см	Ad (AU), 0-5	A (AU) 5-15	A (AU), 0-15	A (AU _{ра}), 0-16
Элементы (оксиды)-биофилы					
P ₂ O ₅	%	0,67	0,49	0,62	0,27
K ₂ O	%	1,96	2,01	1,67	2,16
Fe ₂ O ₃	%	4,44	4,78	4,18	5,14
MnO	%	0,14	0,14	0,14	0,14
Zn	мг/кг	111,26	99,08	120,21	90,18
Ni	мг/кг	50,28	54,53	51,02	48,31
Cu	мг/кг	39,48	45,30	9,09	12,02
Элементы, способствующие структурообразованию					
CaO	%	9,61	12,29	14,95	6,16
Al ₂ O ₃	%	9,20	10,87	8,10	10,25
Элементы, использованные для расчетных формул					
Na ₂ O	%	2,02	2,86	5,65	4,34
MgO	%	1,50	1,87	2,01	2,03
SiO ₂	%	43,12	43,74	38,18	54,15
Тяжелые металлы и металлоиды					
Ba	мг/кг	287,73	310,65	370,08	388,30
Sr	мг/кг	232,83	278,35	174,05	155,07
Cr	мг/кг	57,80	74,07	67,95	106,00
V	мг/кг	77,75	88,91	54,91	97,17
As	мг/кг	6,18	7,03	22,28	23,57
Co	мг/кг	10,79	9,92	0,71	14,35
Pb	мг/кг	32,14	27,71	< LOD	< LOD
Расчетные показатели					
SQ_9	—	6,3	6,5	5,4	4,8
K _{эл}	—	3,96	3,19	2,18	5,09
K _п	—	0,09	0,11	0,18	0,12
TMM ₇	—	49	53	23	41
$\hat{W}$	%	—	97	80	86

Примечания: LOD – предел обнаружения. $\hat{W}$ – средневзвешенная (от 2 до 7 мм) величина водоустойчивости структуры.

Предпосылками формирования высокой степени оструктуренности целинной почвы выступали: высокое содержание ПОВ и лабильных форм гумуса, высокая обеспеченность кальцием, при среднем уровне обогащенности гумуса азотом (по величине C : N). Концентрация ансамбля элементов биологического накопления отражает результаты селективной сорбции химических элементов и их аккумуляции в почве, особенно в корнеобитаемом слое. При этом важно отметить, что особенностью карболитозёма (Р. 1) являлась максимальная степень участия гумусовых веществ и элементов биогенной аккумуляции в структурообразовании из-за отсутствия профильной миграции гумуса.

Целинный стандарт по величинам качества почв (SQ_9), как дерновинного, так и гумусово-аккумулятивного горизонтов, превосходит на 16 % и 25 % новообразованную и залежную почвы соответственно. Это, прежде всего, обусловлено аккумуляцией почвой, находящейся в оптимальных условиях почвообразования, таких элементов, как медь, фосфор, кальций, цинк, по сравнению с залежной почвой, и повышенным содержанием меди, алюминия, калия и железа по сравнению с новообразованной почвой.

Различия в онтогенетической зрелости новообразованной почвы по сравнению с полновозрастными вариантами (целина и залежь) диагностирует даже верхняя часть гор. А: это отражается в наименьшей величине коэффициента элювирования и в наибольшей величине коэффициента подвижности, меньшей концентрации тяжелых металлов и металлоидов. Но эта почва, судя по интегральной оценке элементов-биофилов, занимает промежуточное положение между целинной и залежной почвами, что коррелируется с общей оценкой водоустойчивости агрегатов диаметром от 2 до 7 мм. Оценка эффективности гумусированности почвы в формировании водоустойчивой структуры, рассчитанная по соотношению величины $\hat{W}$ к содержанию ПОВ ($\hat{W} / \text{ПОВ}$, %), показала, что этот показатель больше у новообразованной почвы ($\hat{W} / \text{ПОВ} = 44$ %), тогда как залежная и целинная почвы ей значительно уступают 18 % и 10 % соответственно. Это помимо более активного проявления педогенеза на этапе саморазвития объясняется наиболее благоприятной материнской породой (покровным суглинком), в отличие от двух других почв, обладающих той или иной степенью щебнистости.

В среднем по объектам водопрочность агрегатов с учётом их размерности уменьшалась в следующем порядке: 5-7 мм (87 %), 2-3 мм (86 %), 3-5 мм (83 %). Однако при рассмотрении последовательности изменения водопрочности агрегатов по мере изменения их диаметра установлены противоположные закономерности: если для новообразованной почвы (Р. 2) по мере роста диаметра агрегатов от 2 до 7 мм водопрочность агрегатов последовательно увеличивалась (с 69 % до 80 %), то для целинной почвы на известняке (Р. 1) напротив – водопрочность несколько уменьшалась (с 97 % до 95 %). У длительно залежной (со сроком ренатурации более 40 лет) щебнистой почвы на морских отложениях (Р. 3) водопрочность агрегатов диаметром 2-3 мм имела наибольшую величину (93 %) среди других размерностей, но снижалась по мере увеличения диаметра – до 86 % (5-7 мм) и 81 % (3-5 мм).

Об участии гумуса в структурообразовании свидетельствуют дифференцированные данные по содержанию гумуса в отдельных фракциях водопрочных агрегатах (3,0-0,25 мм). В настоящее время большинство исследователей сходятся во мнении, что по мере уменьшения величины агрегатов содержание гумуса неуклонно снижается, особенно при сравнении фракций 3-1, 1-0,5 и 0,5-0,25 мм. Эти результаты преимущественно относятся к пахотным почвам, а по водопрочным мезоагрегатам размерностями 3-5 мм и 5-7 мм, которые существенно представлены в целинных и старозалежных почвах, как и в нашем исследовании, данных недостаточно. При статистической обработке результатов по почвам степной зоны авторами было показано, что с увеличением диаметра водопрочным агрегатов корреляционная связь водоустойчивости и содержания гумуса повышается, однако наиболее убедительно эта обусловленность проявляется для фракции 2-3 мм. В заключение следует отметить, что на более низком иерархическом уровне агрегации – уровне микроагрегатов ($< 0,25$ мм), происходят своеобразные механизмы структурообразования и более длительное пребывание ПОВ, чем в макроагрегатах, а это требует использования других методов исследования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>

УДК 631.46

ЭМИССИЯ CO_2 ИЗ ПОЧВ РОССИИ: ОТ БАНКА ДАННЫХ К СОЗДАНИЮ ПЕРВОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА

Лопес де Гереню В.О.¹, Курганова И.Н.¹, Хорошаев Д.А.¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, vlopes@mail.ru;

Превышая антропогенную эмиссию CO₂ более чем на порядок, эмиссия CO₂ из почв является одним из крупнейших потоков в глобальном цикле углерода. Академик Г.В. Добровольский в своих трудах неоднократно отмечал, что «...Выделение почвой диоксида углерода ("дыхание почвы") оказывает существенное влияние на состав атмосферного воздуха, особенно его приземных слоев. ...Газовые функции почв привлекают все большее внимание ученых в связи с "парниковым" эффектом, угрожающим общим потеплением климата Земли». И действительно, актуальность изучения эмиссии CO₂ (ЭМСO₂) из почв во всем мире и в России не спадает вот уже более 30 лет.

Первые попытки обобщения накопленных экспериментальных данных по дыханию почв на территории РФ были предприняты в начале девяностых годов прошлого века в рамках Государственной научно-технической программы «Глобальные изменения природной среды и климата», которая включала ряд направлений, среди которых был проект «Дыхание почв». Результатом обобщений, выполненных в рамках этой программы, было создание в 1991–1995 гг. под руководством чл.-корр. РАН В.Н. Кудеярова первого банка данных, объединяющего собранные за предшествующие 20–30 лет экспериментальные определения почвенной эмиссии CO₂. С учетом типовой принадлежности почв, по результатам анализа связи между биоклиматическими параметрами, свойствами почв и выделением ими CO₂ были рассчитаны средние за вегетационный период значения ЭМСO₂ из почв. Однако, влияние типа растительности и землепользования при оценке средних величин ЭМСO₂ в разных типах почв во внимание не принимали. На основе созданного банка данных впервые была получена оценка общего потока CO₂ из почв наземных экосистем России за вегетационный сезон, которая составила 3.12 Гт С/год, и разработана карта-схема интенсивности дыхания почв на территории России.

Позднее, в 1996–2001 гг., банк данных был существенно дополнен и создана первая электронная база данных (БД) «Дыхание почв России», которая включала все доступные на тот момент опубликованные данные по ЭМСO₂, начиная с 50-х годов XX века, в соответствии с типами почв и типами землепользования/растительности. Созданная БД включала 415 записей и опиралась на 103 литературных источника. Параллельно были организованы сопряженная БД по оценке вклада летнего сезона в годовую ЭМСO₂ из почв на основе данных круглогодичных измерений, на базе которой был разработан алгоритм оценки годовых величин ЭМСO₂ из почв. Для того, чтобы из общего потока CO₂ вычленить микробную (гетеротрофную) компоненту, была создана дополнительная БД по оценке вклада корневого дыхания в общий поток CO₂ из почв, позволившая вычленить долю корневого дыхания в общем потоке CO₂ из почв, относящихся к различным категориям земель (тундра, лес, луг, агроценоз). Опираясь на эти обобщения, были впервые оценены общее (5.67 Гт С/год), гетеротрофное (2.78 Гт С/год) и корневое (2.89 Гт С/год) дыхание почв за годовой период с учетом ЭМСO₂ за пределами вегетации. Применяя набирающие силу ГИС-технологии, на базе Почвенной карты России в 2001 г. была создана серия карт, включающая: общее, гетеротрофное и корневое дыхание почв России» с учетом типа землепользования.

Дальнейшее развитие БД по дыханию почв получила в Институте прикладных системных исследований (ПАСА, Лаксенбург, Австрия). Эта наиболее полная БД объединила 932 исследования (около 4000 записей) дыхания почв в биомах арктической, бореальной и умеренной зон за период измерений 1961–2008 гг. Наряду с Россией, в нее были включены и другие регионы мира: Европа, Азия, Северная Америка. Большинство исследований проведено в лесных экосистемах (n = 2475), существенно меньше в луговых (n=518) и на пашнях (n=517). Для оценки ЭМСO₂ из почв за годовой период использовали регрессионные модели на основе климатических параметров. Оценка гетеротрофного

дыхания, выполненная на основе расширенной БД, на территории РФ для 2010 г. составила 3.2 Гт С/год. Кроме того, были разработаны карты и сделаны прогнозы величины гетеротрофного дыхания почв на территории РФ, согласно разным климатическим сценариям IPCC (Международная панель по изменению климата), которые показывают увеличение гетеротрофного потока CO₂ из почв РФ на 10–12% к 2050 г., и на 13–33% к 2100 г. по сравнению с уровнем 2010 г.

Колоссальный взлет интереса к измерениям эмиссии CO₂ из почв имел место в 2023–2024 гг. в рамках Важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах». Благодаря полученному финансированию, позволившему обеспечить коллективы газометрическим оборудованием, была организована первая в России и в мире единая национальная сеть наблюдений за ЭМCO₂ из почв. Впервые для территории РФ на основе методически идентичных полевых измерений, проведенных одновременно в летний период (июнь – август) 2023 г. на 75 площадках мониторинга, приуроченных к различным экосистемам в основных биоклиматических зонах (от тундры до полупустыни), выполнен анализ скорости эмиссии CO₂ и её связи с температурой верхнего 5–10-см слоя почвы (Ts). Показано, что положительное влияние температуры почвы на среднелетнюю скорость и максимальные месячные значения ЭМCO₂ наблюдаются в интервале средних Ts от 10 до 20°C. Среди исследованных экосистем, наименьшие значения ЭМCO₂ выявлены в тундровых и болотных экосистемах, а наибольшие – в лесостепиных. Среди лесных экосистем наименьшая величина ЭМCO₂, характерна для лиственничников, тогда как самые высокие значения ЭМCO₂, наблюдались в широколиственных лесах лесостепной зоны. В рамках второго этапа ВИП ГЗ планируется проводить расширение созданной сети наблюдений, что позволит уточнить полученные закономерности.

Таким образом, на территории России впервые создана единая сеть мониторинга эмиссии CO₂ – одного из наиболее значительных потоков в глобальном цикле углерода. Благодаря этому, значительная часть наземных экосистем России обеспечена полевыми наблюдениями не только в Европейской, но и в азиатской части страны. Выявлены зональные экосистемы, которые требуют повышенного внимания исследователей в силу ограниченности имеющейся по ним информации – это, прежде всего, степи и тундры. Кроме того, необходимо развивать наблюдения за дыханием почв в агроценозах и других антропогенно-измененных экосистемах. Полученные в рамках российской сети мониторинга данные по эмиссии CO₂ из почв будут представлять несомненный национальный и международный интерес и значимость.

Работа выполнялась в рамках Государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № 123030300031-6) и реализации ВИП ГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах». Авторы признательны всем участникам группы по эмиссии CO₂ из почв, созданной в рамках ВИП ГЗ, за участие в коллективной работе.

УДК 631.466:578.4

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИОФАГОВ

Лысак Л.В., Чекин М.Р., Гришковец Д.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, lvlysak@mail.ru

Бактериофаги (фаги) – неотъемлемая часть микробных сообществ экосистем Земли. В настоящее время общепризнано, что фаги являются наиболее многочисленными

компонентами природных сообществ на Земле и играют экологически значимую роль в водных экосистемах, где являются важным фактором регуляции численности и контроля структуры микробных популяций, участвуя в автолизе бактериальных клеток, а также переносе бактериальных генов. Сведений о распространении, численности и экологической значимости фагов в почве значительно меньше, в некоторых зарубежных работах отмечается возможная роль бактериофагов в регуляции численности бактерий и участии в экологических функциях микробных сообществ почвы. Несмотря на высокую численность (до 10^{10}), бактериофаги в почве часто остаются без должного внимания. Сведений о распространении, численности и экологической значимости бактериофагов в почве значительно меньше, чем в водных средах, а в отечественной литературе они практически отсутствуют. В немногочисленных зарубежных работах имеются сведения об обнаружении бактериофагов в почве и их возможной роли в регуляции численности бактерий. Перед почвенными микробиологами стоит важная задача по разработке методов обнаружения и определения численности бактериофагов в почве. Используемые в большинстве работ методики позволяют количественно определять в природных средах бактериофаги (вирусоподобные частицы), но, вероятно, не все из них являются истинными вирусами. Наряду с вирусами обнаруживаются дефектные вирусные частицы, везикулы внешней мембраны клеток, содержащие ДНК, и комплексы свободной нуклеиновой кислоты с органическими или неорганическими коллоидами, устойчивые к нуклеазам. Вне клетки фаги не проявляют признаки живого и ведут себя как частицы биополимеров. От живых паразитарных организмов фаги отличаются полным отсутствием основного и энергетического обмена и отсутствием сложнейшего элемента живых систем – аппарата трансляции. Согласно одному из определений, бактериофаги представляют собой форму жизни, согласно другому, фаги являются комплексами органических молекул, взаимодействующих с живыми организмами. В природных условиях бактериофаги обнаруживаются, как правило, в тех местах, где есть чувствительные к ним бактерии. Известно, что чем богаче тот или иной субстрат (почва и сопряженные с ней субстраты) бактериями, тем в большем количестве в нём встречаются соответствующие фаги.

Целью нашей работы является разработка методов определения численности бактериофагов и их морфологического разнообразия в природных и антропогенно нарушенных (городских) почвах России, а также твердых атмосферных выпадениях на территории города Москвы.

Численность бактериофагов в почвах определяли методом прямой эпифлюоресцентной микроскопии при помощи окраски почвенной суспензии красителями SYBR Green и SYBR Gold. Определение численности бактерий проводилось при помощи окраски акридином оранжевым. Изучение взаимодействия бактериофагов и бактерий в почве проводилось в модельном опыте с внесением концентрированной фаговой суспензии в почву, обогащенную бактериями. При изучении морфологии бактериофагов использовали метод просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Выделение бактериофагов (колифагов) из почвы проводили при помощи обогащения накопительных культур бактериофагов бактериями, потенциально чувствительными к выделяемым фагам (*Escherichia coli*). Изучение взаимодействия бактериофагов с бактериями на питательной среде проводилось методом «спот-теста».

Бактериофаги были обнаружены во всех исследованных образцах верхних горизонтов почв. Численность бактериофагов, подсчитанная с помощью красителей SYBR Green и SYBR Gold, достигала значительных величин (0,34 – 5,7 млрд. в 1 г почвы) и была сравнима с их численностью в донных отложениях. В железистых конкрециях дерново-подзолистой почвы также были обнаружены бактериофаги (1,8 млрд. в 1 г почвы). Численность фагов в переувлажненной торфяной почве была в 3 раза выше, чем в сухой каштановой почве. Численность фагов в исследованных образцах почв была несколько ниже численности бактерий (за исключением чернозема и почвы с гиполитным

органогенным горизонтом) и достигала нескольких млрд. в 1 г почвы. Соотношение показателей численности бактериофаги/бактерии составляло от 0,16 до 1,67. При помощи просвечивающей электронной микроскопии было выявлено значительное разнообразие бактериофагов в проанализированных почвах. Присутствовали следующие морфологические типы: икосаэдрические, хвостатые и нитчатые бактериофаги. В модельном опыте при внесении концентрированных фаговых суспензий в дерново-подзолистую почву происходило уменьшение численности бактериальной составляющей, что свидетельствует о взаимодействии между фагами и бактериальными клетками. Наиболее существенно снижалась численность грамотрицательных бактерий. Численность бактериофагов в исследованных городских почвах на территории города Москвы (район Хамовники и Третье Транспортное Кольцо (ТТК)) варьировала в зависимости от уровня антропогенной нагрузки: максимальная численность зарегистрирована в образце с низкой антропогенной нагрузкой (Хамовники), минимальная – в образцах с сильной антропогенной нагрузкой (ТТК). В образцах твердых атмосферных выпадений (ТАВ), отобранных на тех же территориях максимальная численность бактериофагов была зарегистрирована в образце с низкой антропогенной нагрузкой, а минимальная – в образцах с высокой антропогенной нагрузкой. Численность бактериофагов в городских почвах была выше в 2-5 раз, чем в ТАВ и составляла около 2 млрд. в 1 г почвы, что коррелирует с общей численностью бактерий в почве. В городских почвах и ТАВ практически все исследованные бактериофаги (по результатам ПЭМ) морфологически могут быть отнесены к сифовирусам, также обнаружен один представитель морфогруппы подовирусов, что свидетельствует о разнообразии фагов в городской среде. Проведенные исследования показывают наличие как вирулентных, так и умеренных фагов в почвах, при этом в почвах с высокой антропогенной нагрузкой, больше фагов выделялось при добавлении в накопительную культуру антибиотика митомицина С, стимулирующего выход фагов из клеток. Это может быть связано с присутствием в исследованной почве значительного числа лизогенных форм бактерий. Показана применимость метода эпифлуоресцентной микроскопии при использовании модификации метода адгезия вирусных фракций из почв как на Анодисках (наиболее широко используемый метод учета почвенных бактериофагов), так и на полистироловой подложке. Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о высокой численности и значительном морфологическом разнообразии бактериофагов в природных и городских почвах, а также в ТАВ на территории города Москвы. Бактериофаги представлены как вирулентными, так и умеренными фагами. Результаты модельных опытов с внесением концентрированных фаговых суспензий в дерново-подзолистую почву позволяют предположить, что бактериофаги играют значительную роль в динамике численности популяций, чувствительных к бактериофагам бактерий, что может сказаться на выполнении микробным сообществом разнообразных экологических функций и возможности реализации «вирусной петли» в почвах. Полученные в работе данные о морфологическом разнообразии бактериофагов, наличии вирулентных и умеренных фагов способствуют пониманию механизма природного контроля численности бактерий в почве, а также разработке новых подходов к биоремедиации и снижению риска болезней, связанных с присутствием в городских почвах и ТАВ патогенных бактерий, что будет способствовать более точной оценке и предупреждению экологических рисков, связанных с антропогенным воздействием на урбанизированные территории.

УДК 631.48 (571.63)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОЛУОСТРОВА МУРАВЬЕВ-АМУРСКИЙ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА ПОЧВЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Лящевская М.С., Пшеничникова Н.Ф., Киселёва А.Г., Родникова И.М.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail lyshevskay@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

В районе г. Владивостока и на сопредельных территориях коренные леса в основном утрачены, а их доля не выше 12% площади водосбора залива Петра Великого. В сохранившихся лесах значительно уменьшилось участие крупных деревьев, особенно хвойных пород. Тем не менее, многообразие видов и сообществ на п-ове Муравьев-Амурский (свыше 30 видов на 1000 га) приближается к заповедным территориям. Лесной покров полуострова выполняет важную водоохранную и почвозащитную роль в условиях горного рельефа и муссонного климата с ливневыми размывающими осадками.

Цель работы – оценка современного состояния растительности и реконструкция ландшафтов п-ова Муравьев-Амурский.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полуостров Муравьев-Амурский расположен в южной части Приморья. Он простирается с северо-востока на юго-запад, имеет длину около 40 км и ширину примерно 20 км. С востока омывается водами Уссурийского залива, с запада – Амурского, а с юга – залива Петра Великого. Его климат характеризуется как муссонный, с сухой зимой и влажным летом (годовое количество осадков около 700-800 мм). Среднегодовые температуры — +3...+6 °С, средняя температура января — -12...-15 °С, средняя температура самого теплого месяца августа — +20...+22 °С. Для территории характерен низкогорный рельеф с абсолютными высотами 150-400 м над ур. моря и крутизной склонов от 3-5 до 20-25°. На большей части полуострова распространены вторичные дубовые леса, под которыми развиты буроземы типичные и буроземы темные. Территория относится к Восточно-Азиатской хвойно-широколиственной области и включает в себя ареал эндемичного вида, самой крупной породы на Дальнем Востоке - пихты цельнолистной *Abies holophylla*, которая выступает основным эдификатором чернопихтово-широколиственных лесов. Для реконструкции растительности на п-ове Муравьев-Амурский в районе станции Весенняя был заложен почвенный разрез 1-23 (координаты: 43°16'20"; 132°05'49"), из которого на спорово-пыльцевой анализ было отобрано 27 проб с шагом 2 см, за исключением поверхностной, которая была взята на глубину подстилки – 3 см. Для определения возраста почвы с глубины 36-41 см получена радиоуглеродная дата 1287±180 BP (ИМКЭС-14С3040), календарный возраст среднего вероятного значения которой 766 AD. Калибровка радиоуглеродного возраста в календарный произведена с помощью программы CALIB REV -8.2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования проводились на восточном склоне водораздела с крутизной 25°, поверхность слабоволнистая. Абсолютная высота - около 126 м. Растительность: чернопихтово-широколиственный лес из дуба монгольского *Quercus mongolica*, клёна ложнозибольдова *Acer pseudosieboldianum*, ильма японского *Ulmus japonica*, липы амурской *Tilia amurensis*, ясеня носолистного *Fraxinus rhynchophylla* с посадками пихты цельнолистной (сомкнутость крон 80%, средняя высота 20 м), возрастом около 30 лет, и редким кустарниковым подлеском из трескуна амурского *Ligustrina amurensis*, боярышника перистонадрезанного *Crataegus pinnatifida*, леспедецы двуцветной *Lespedeza bikolor* (проективное покрытие 30%, средняя высота 3 м). В травяном покрове (проективное покрытие 50%, средняя высота 0.5 м) преобладают ластовень заострённый *Vincetoxicum acuminatum*, волжанка обыкновенная *Aruncus dioicus*, хлорант японский *Chloranthus japonicus*, пион обратнойцевидный *Paeonia obovata*, спаржа шобериевидная *Asparagus schoberioides*, герань волосистоцветковая *Geranium erianthum*.

Исследование лишайникового покрова как индикатора экологического состояния территории выявило не очень богатое видовое разнообразие. Большинство видов лишайников относятся к устойчивым к антропогенному воздействию. На исследованных участках преобладают виды с хорошим жизненным состоянием. Наиболее

распространенными являются *Myelochroa aurulenta* (Tuck.) Elix & Hale, *Phaeophyscia hispidula* (Ach.) Moberg, *Opeltia flavorubescens* (Huds.) S.Y. Kondr. & Hur., виды родов *Lecanora*, *Graphis*. Редко встречаются виды родов *Collema*, *Ochrolechia*, *Pertusaria*. Состояние лишайникового покрова свидетельствует о длительном негативном антропогенном воздействии, при котором сохранились небольшие участки прежнего разнообразия.

Почвенный профиль разреза 1-23 включает горизонты О(0-3см)–АU(3-14см)–АUBM(14-30см)–ВМ(30-55см)–ВМС(55-58см). Почвы: Бурозем темный маломощный сильно скелетный на делювии песчаника.

В результате проведенного спорово-пыльцевого анализа почвенного профиля было выделено четыре локальные пыльцевые зоны (рис.).

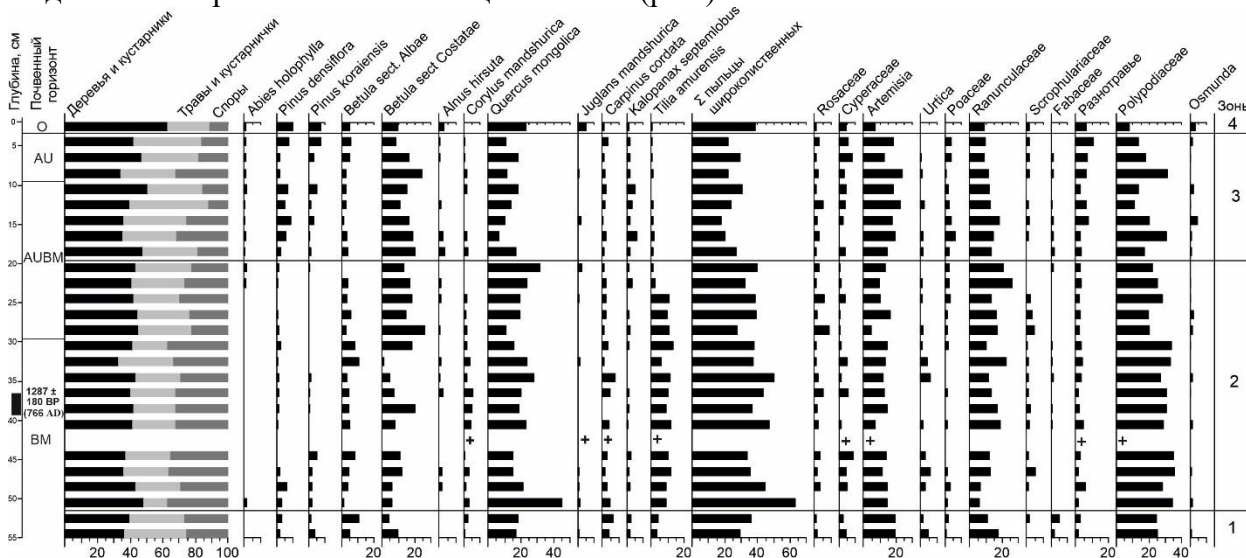


Рис. Спорово-пыльцевая диаграмма почвенного разреза 1-23 (п-ов Муравьев-Амурский).

Зона 1 (инт. 51–55 см). Древесные таксоны составляют около 40% спектров, доминируют широколиственные породы (до 36%): *Carpinus cordata*, *Tilia amurensis*, *Kalopanax septemlobus*, *Juglans mandshurica*, *Fraxinus rhynchophylla*, *Ulmus japonica*, *Corylus mandshurica* с максимумом пыльцы *Quercus mongolica* (до 19%). Доля хвойных: *Pinus densiflora* и *P. koraiensis* – до 5%, мелколиственных: (*Betula*) – около 15%. В группе трав и кустарничков (до 38%) преобладает пыльца *Artemisia* – до 20% и *Ranunculaceae* – до 17%, присутствуют *Fabaceae*, *Cyperaceae*, *Urtica*, *Rosaceae*, *Galium*, *Poaceae*, *Scrophulariaceae*, *Geranium*. Среди споровых (до 26%) доминируют папоротники *Polypodiaceae*, единично присутствуют споры *Osmunda*.

Зона 2 (инт. 19–51 см). Преобладает пыльца деревьев (до 48%). Увеличивается доля широколиственных (до 63%), особенно *Quercus*, максимум (46%) которого наблюдается в нижней части. Заметно возрастает участие *Tilia* (до 14%), появляется пыльца *Acer*, *Ligustrina amurensis*, *Vitis amurensis*, *Lonicera*, встречено по одному пыльцевому зерну *Morus* (инт. 25–27 см) и *Fagus* (инт. 23–25 см). В нижней и верхней части пыльцевой зоны в группе хвойных появляется единичная пыльца *Abies holophylla*. Возрастает участие мелколиственных (до 30%), особенно *Betula sect. Costatae* (до 27%), в верхней части зоны. В небольшом количестве появляется пыльца *Alnus hirsuta* и *Salix*. Среди трав доминируют *Artemisia* и *Ranunculaceae*. Несколько увеличивается доля споровых (до 37%).

Зона 3 (инт. 3–19 см) характеризуется снижением доли широколиственных (до 18%) и, в частности, *Quercus* (до 7%), заметно уменьшается участие *Tilia* и *Carpinus*. Среди хвойных увеличивается доля *Pinus densiflora* (до 10%) и *P. koraiensis* (до 8%) особенно в верхней части зоны. Участие мелколиственных – до 31%. Зафиксировано максимальное процентное содержание пыльцы трав – 48%, преобладает пыльца *Artemisia* (до 25%),

увеличивается доля разнотравья (до 11%), Poaceae (до 6%), уменьшается участие Ranunculaceae и *Urtica*. Доля споровых сокращается до 12%.

Зона 4 (инт. 0–3 см). Процентное содержание пыльцы древесных максимально – 63%. Доминирует пыльца широколиственных (39%), среди которой преобладает *Quercus* (26%), увеличивается доля *Juglans* – 5%. Снижается участие мелколиственных (20%), в частности, *Betula* sect. *Costatae* (11%). Доля хвойных составляет 20%: *Abies* – 1%, *Pinus densiflora* – 11%, *P. koraiensis* – 8%. В группе трав (26%) уменьшается содержание *Artemisia* (8%). Участие споровых минимально – 11%.

Данные спорово-пыльцевого анализа свидетельствуют о нескольких этапах в развитии растительности, обусловленных изменениями климата и антропогенным влиянием. Так в начале первого тысячелетия нашей эры на восточном побережье п-ова Муравьев-Амурский (Уссурийский залив) были распространены широколиственно-кедровые леса, а на западном побережье (Амурский залив) – дубово-широколиственные из дуба монгольского с участием граба сердцелистного, липы амурской, калопанакса семилопастного, ореха маньчжурского, ясеня носолистного, ильма японского, лещины маньчжурской и берез. На локальных участках (каменистых склонах южной ориентации) могла встречаться сосна густоцветковая. В настоящее время на полуострове единичные экземпляры сосны густоцветковой сохранились только на водоразделах рек Пионерская (Седанка) и Богатая (Лянчихе). Климат был прохладнее современного, учитывая более низкое содержание пыльцы дуба и широколиственных (19 и 36% соответственно) в спектрах пыльцевой зоны 1 по сравнению с субфоссильными спектрами (дуб – 26%, широколиственные – 39%).

Следующий период характеризовался климатическими условиями теплее современных, о чем свидетельствуют высокие значения пыльцы широколиственных и дуба, на 20% превышающие их содержание в субфоссильных спектрах. В лесах было больше липы и граба. Полученная датировка позволяет сопоставить данное потепление со средневековой климатической аномалией (VIII–XIII вв.), наступление которой на территории юго-восточного Приморья фиксируется уже в VII в. н. э. На восточном побережье п-ова Муравьев-Амурский в это время доминировали кедрово-широколиственные леса. Теплый климат мог способствовать развитию садоводства у средневекового населения Приморья. Так, находка пыльцы шелковицы в отложениях этого периода может указывать на ее культивирование, например, чжурчжэнями, которые проживали на территории южного Приморья в X–XIII вв. и в больших количествах выращивали тутовые деревья, необходимые для питания шелкопряда.

На территории Приморья среднегодовая температура была выше на 1–1.3 °C, в основном за счет более теплых зим, связанных с увеличением меридионального переноса тепла. Усиление теплого Цусимского течения в северном направлении в это время оказывало интенсивное обогревающее воздействие на побережье залива Петра Великого. На островном и континентальном побережьях юга Дальнего Востока, потепление проявилось во всех ландшафтных зонах. На территории Китая оно началось в VIII в., а в Японии теплая фаза датируется 732–1296 гг. н.э. Согласно дендрохронологическим данным для Северного полушария в период с 750 по ~ 850 г. н.э. происходило умеренное повышение температуры, за которым последовал продолжительный теплый период.

Уменьшение участия широколиственных и дуба в составе лесов полуострова Муравьев-Амурский произошло в XV в. и было связано с похолоданием малого ледникового периода. В это время сокращались площади, занятые лесной растительностью, возрастала роль мелколиственных – берез и ольхи, а также кедра и сосны густоцветковой на сухих каменистых склонах. На восточном побережье полуострова увеличилась площадь безлесных участков, а на горных склонах в лесной растительности возросла роль кедра корейского. В составе хвойно-широколиственных лесов уменьшилось участие неморальных элементов. На верхних уровнях рельефа расширились участки неморальных ельников, на побережье существовали рощи сосны густоцветковой.

Согласно дендрохронологическим данным за последние 2000 лет именно малый ледниковый период был самым холодным событием, а в период 1452-1471 г. отмечается температурная аномалия до -0.96°C . В течение малого ледникового периода зафиксировано несколько гранд-минимумов солнечной активности и минимум летней инсоляции в Северном полушарии.

Исчезновение пыльцы кедра и уменьшение доли древесной пыльцы в интервале 7-9 см, скорее всего, связаны с усиленной вырубкой строевого леса гористых окрестностей Владивостока после перенесения порта из Николаевска во Владивосток (1873 г.). Вырубки, прежде всего хвойных пород, наиболее интенсивно проходили в южной части полуострова и сопровождалась прокладкой дорог вдоль горных склонов, тогда как восточного побережья, более отдаленного и менее доступного, они коснулись в меньшей степени. В изученных ранее авторами почвенных разрезах (3-09, 4-09, 5-09, 7-09), заложенных на п-ове Муравьев-Амурский, наблюдается отсутствие или значительное сокращение пыльцы пихты цельнолистной и кедра в горизонте О (подстилке) по сравнению с нижележащим образцом из горизонта АУ.

В 1860 г. руководитель лесоустроительной партии А.Ф. Будищев свидетельствовал о том, что по всему п-ову Муравьев-Амурский обильно распространены «лиственные и хвойные строевые, поделочные и отчасти корабельные леса». В 1909 г. на хвойно-широколиственные древостои приходилось 39% лесопокрытой площади, дубняки – 43%, лиственные леса – 18%; в 1929 г. – 12, 52 и 36% соответственно; в 1965 г. – 4, 58 и 38%. Только в 1992 г., когда чернопихтово-широколиственные леса в большей части своего ареала были пройдены выборочными рубками и лесными пожарами, в них были запрещены рубки главного пользования. Проведение лесовосстановительных мероприятий позволило остановить отрицательную ресурсную динамику этих лесов и восстановить в большинстве случаев утраченные позиции пихты цельнолистной. Посадки пихты цельнолистной выступают ареалами восстановления условно-коренных хвойно-широколиственных лесов, уничтоженных в результате интенсивного освоения полуострова с середины XIX в.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам изучения спорово-пыльцевых спектров почвенных профилей в развитии ландшафтов п-ова Муравьев-Амурский выделяется три этапа: 1) минимального воздействия человека (X - середина XIX в.), 2) интенсивного антропогенного воздействия (прокладка дорог, рубка строевого леса при становлении г. Владивостока и строительстве его крепости) (с 1860 по 1992 г.), 3) контролируемого освоения с соблюдением экологических и охранных норм (с 1992 г. по настоящее время). Для сохранения природного и социально-экономического потенциала п-ова Муравьев-Амурский в ближайшем будущем здесь планируется создать особо охраняемую территорию и разработать конкретные меры по её охране. Ожидается, что новая территория будет приспособлена для экологического туризма.

УДК 631.46

ТЕКСТУРНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ПОЧВЫ РУССКОЙ РАВНИНЫ КАК ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АРХИВ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЯ

Макеев А. О.¹, Русаков А. В.², Мокиевский Н.В.^{1,3}, Лебедева М. П.³, Хохлова О.С.⁴, Фролова Л.С.³

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, makeevao@gmail.com;

²СПбГУ, Санкт-Петербург, spp-06@mail.ru;

³Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, m_verba@mail.ru;

⁴ИФХиБПП РАН, Пущино, olga_004@rambler.ru

Генетическое почвоведение играет ключевую роль в решении фундаментальной проблемы современной науки – истории развития природной среды Северной Евразии для прогноза изменений природных обстановок в условиях глобальных изменений климата и

возрастающей антропогенной нагрузки. Палеогеографические архивы (глубоководные океанические осадки, ледниковые керны, озерные и флювиальные отложения и др.) показывают, что позднеледниковье отличалось динамичными климатическими циклами, с чередованием холодных и теплых, аридных и гумидных циклов. Эти циклы определяли характер осадконакопления и педогенеза, а также развитие мерзлотных и эрозионных процессов и озерных обстановок как в речных долинах, так и на междуречных пространствах. Поздневалдайская динамика природных процессов повлияла и на голоценовое почвообразование. Циклически возникающее инициальное почвообразование чередовалось со склоновым и субэзральным осадконакоплением и мерзлотными процессами, результатом чего явилось формирование специфических природных поздневалдайских тел. Их изучение представляет большой интерес, поскольку эти тела, в той или иной степени сохранившие до настоящего времени свои признаки, формируют почвенно-литологическую матрицу для современных почв междуречных пространств как в ледниковой, так и в перигляциальной областях последнего оледенения. Сложная динамика осадконакопления и педогенеза хорошо изучена в педоседиментационных толщах овражно-балочных комплексов на различных гипсометрических уровнях. Однако, влияние финального осадконакопления, склоновых и мерзлотных процессов на состав почвообразующих пород, а также на строение почвенных профилей современных дневных почв на междуречьях слабо исследовано. Не определены генетические типы отложений и хроностратиграфические рамки осадконакопления, склонового перемещения, и почвообразования, выдержанность реликтовых почвенных признаков в рельефе. При этом наименее изученными в истории формирования почв и почвенного покрова остаются ранние этапы их развития, начиная с этапа дегляциации. В то же время, исследования почв и почвенного покрова центра Русской равнины показали, что они находятся в сильной зависимости от присутствия реликтовых признаков, обусловленных холодными обстановками позднеледниковья. Так, полигонально-блочный микрорельеф, сформированный во время ярославского криогенного этапа, оказывает влияние на формирование современного почвенного покрова проявляясь в современном рельефе. Особо следует отметить финальный этап эоловой седиментации в позднеледниковье. В перигляциальных и ледниковых областях Русской равнины этот этап выявляется по наличию (супесчано)-пылеватого слоя мощностью 50 – 70 см, в верхней части профилей текстурно-дифференцированных почв на покровных суглинках. Поскольку маломощный слой субэзральных осадков полностью входит в состав почвенных профилей, он преобразован почвообразованием, и потому выпадает из рассмотрения при геологической съемке. В то же время, изучение слоя, связанного с заключительными этапами осадконакопления, позволяет реконструировать палеогеографическую обстановку времени его отложения. Его наличие во многом определяет характер текстурной дифференциации, и потому важно для правильной интерпретации генезиса почв: выявление отдельного этапа финального лессонакопления в позднеледниковье позволит оценить роль почвенных и литологических процессов в формировании почв, занимающих до 50% площади междуречий. Для выявления отдельного этапа седиментации, наряду с анализом литологической неоднородности, выполнено исследование пространственного залегания верхнего пылеватого слоя в зонах латерального контакта различных подстилающих пород: покровных, моренных и озерных суглинков, флювиогляциальных отложений и других пород. Установлено, что в зонах контакта единый (супесчано)-пылеватый слой со сходными морфологическими и аналитическими характеристиками перекрывает различные породы, что подтверждает его отложение в результате отдельного этапа эоловой седиментации. Установление временных рамок финального этапа лессонакопления затруднено поверхностным залеганием верхнего слоя и его небольшой мощностью. Для датировок отбирались образцы из мерзлотных клиньев и ложбинообразных заполнений в кровле подстилающих пород. Полученные в различных областях перигляциальной зоны последнего оледенения (Ярославская, Владимирская и

Тверская области) ОСЛ датировки показывают, что отложение пылеватого слоя происходило в холодных и сухих условиях позднеледникового. Маломощные слои, связанные с заключительным этапом лессовой седиментации описаны и в других регионах северного полушария. Маломощный (до 50 см) слой эолового осадка, соответствующий верхнему слою (upper layer) в составе перигляциальных покровных слоев (periglacial cover beds) перекрывает горизонты ВТ в почвах Центральной и Западной Европы и вносит значительный вклад в текстурную дифференциацию почв. Верхний лессовый слой перекрывает торфяники возраста ранний дриас – бёллинг, а также подстилается горизонтом маркирующего пепла извержения вулкана Лахер (Laacher See, ~12930 лет назад), что указывает на его отложение в холодный и сухой период позднего дриаса (12700 – 11600 лет назад). На наличие финального этапа эоловой седиментации указывает и перекрытие маломощным слоем эолового осадка (aeolian drape) дочетвертичных пород в областях немецких, австрийских и итальянских среднегорий. В области последнего оледенения (южная Швеция) также широко распространены маломощные (20–80 см) лессовые слои (surface silts), время отложения которых авторы связывают с периодом усиления эоловой активности в позднеледниковье. Широкое распространение верхнего субаэрального слоя подтверждает представление о том, что его седиментация определялась общими для всего северного полушария климатическими ритмами. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-17-00073.

УДК: 631.416

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ СТЕПНЫХ ПОЧВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Малышев В.В., Иовчева А.Д., Алексеева Т.В. Алексеев А.О.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, vladmalyscheff@yandex.ru

В отличие от традиционно применяемых интегральных почвенных характеристик, минеральный и химический состав отдельных гранулометрических фракций, формирующих почвенную матрицу, до настоящего времени изучен недостаточно. Их выделение и последующий анализ позволяют более детально проследить процессы трансформации твердой фазы почв под влиянием как биотических, так и абиотических факторов. Такой подход открывает возможность оценки роли климатического фактора в перераспределении химических элементов между фракциями, что способствует уточнению и расширению представлений о геохимических индикаторах, используемых в палеоклиматических реконструкциях. Цель исследования заключалась в выявлении закономерностей перераспределения химических элементов между гранулометрическими фракциями в процессе почвообразования степных почв Восточно-Европейской равнины. Объектом исследования были выбраны гранулометрические фракции, выделенные из слоя 0-10, 10-20, 30-50 см и почвообразующих пород почв степной и полупустынной зон Восточно-Европейской равнины (черноземы (n=11), каштановые (n=5), бурые полупустынные (n=3)). Почвообразующими породами для черноземов и каштановых почв являются лессовидные суглинки. Бурые полупустынные почвы сформированы на морской террасе позднечетвертичного периода, состоящей из суглинков, глин и песков. Илистую фракцию (<2 мкм) выделяли методом отмучивания с разделением остатка (>2 мкм) на фракции различного гранулометрического размера (2–5, 5–10, 10–50, 50–250, >250 мкм). Валовой химический анализ почв проводили методом рентгенфлуоресцентного анализа (XRF) на приборе Bruker Jaguar S6, по методике измерений массовой доли элементов и оксидов в таблетированных пробах, составленной на основе государственных стандартных образцов (ГСО – ООКО, СП). Измерение для гранулометрических фракций выполнялось по методике микронавесок для порошковых проб, также с использованием калибровок, полученных на основе ГСО.

Из черноземов и каштановых почв основную массу, выделенных фракция составляет фракция крупной пыли (10-50 мкм) и илистая (<2 мкм). Для каштановых почв масса выделенной фракции мелкого песка (50-250 мкм) выше, а илистой ниже, чем у черноземов. В бурых полупустынных почвах основную массу составляет фракция 50-250 мкм. При этом масса выделенной илистой фракции снижается от черноземов к бурым полупустынным почвам.

В результате анализа химического состава гранулометрических фракций степных почв можно выделить три группы элементов содержание которых: 1) увеличивается в крупных фракциях (10-50, 50-250 мкм) (Si, Na, Zr, Sr); 2) возрастает в илистой фракции (<2 мкм) (Al, Fe, K, Mg, Rb, P); 3) изменяется по фракциям не равномерно (Ca, Ti, Mn, Ba, S).

Для корректного анализа поведения элементов в гранулометрических фракциях требуется учитывать их относительную массу в составе образца. С этой целью был рассчитан показатель массовой доли химического элемента, приходящаяся на конкретную

гранулометрическую фракцию (MF) в общем образце по формуле: $MF = \frac{X_{fr} \times m_{fr}}{m_{bulk}}$, где X_{fr} – измеренное значение элемента во фракции (%), m_{fr} – масса фракции (г), m_{bulk} – масса общего образца (г). Суммирование MF по полученным гранулометрическим фракциям позволяет получить расчетное содержание химического элемента в общем образце ($X_{t-bulk} = \sum MF$).

Для оценки баланса элементов в исследуемых гранулометрических фракциях с учетом их масс, в том числе потерь в ходе выделения, был рассчитан вклад химического состава фракций в их общий химический состав. В черноземах фракция <2 мкм вносит вклад (30–40%) в содержание Fe, Mg, Ca, P, S, Rb. Примерно одинаковый вклад (~25%) вносят фракции <2 и 10-50 мкм в содержание Ba, Ti, Mn. В содержание Al и K основной вклад (30%) вносит фракция 10-50 мкм, в меньшей (25%) степени фракция <2 мкм. Фракция 10-50 мкм вносит основной вклад (30–45%) в содержание Si, Na, Sr, Zr. В слое 0-10 см черноземов отмечается значительное увеличение вклада фракции 2-5 мкм в содержание элементов, кроме Zr и S. В каштановых почвах явно прослеживается увеличение вклада фракции 50-250 мкм в содержание всех элементов (от 5 до 20%). Фракция <2 мкм вносит основной вклад (30–40%) в содержание Fe, Mg, S, Rb. Фракция 10-50 мкм вносит основной вклад (30–50%) в содержание Si, Al, K, Na, Ca, Sr, Ba, Ti, Zr, P. Фракции <2 и 10-50 мкм вносят равный вклад (25–30%) в содержание Mn. В бурых полупустынных почвах вклад фракции 50-250 мкм в содержание Si, Al, K, Na, Ca, Sr, Ba, Ti, Zr, Mn, P, S, Rb составляет от 60 до 90%. Только в содержание Fe и Mg в данных почвах увеличивается вклад фракции <2 мкм (до 50%).

Таким образом, черноземы демонстрируют повышенную роль тонкодисперсных частиц в аккумуляции элементов (Fe, Mg, Ca, P, S, Rb). Это отражает высокую роль вторичных минералов (гидрослюды, смектитов, хлоритов), оксидов и гидроксидов железа в аккумуляции Fe, Mg, Ca, Rb, а также органоминеральных образований в аккумуляции P и S, о чем свидетельствует корреляция данных элементов с содержанием $C_{орг}$ в верхней части профиля. В каштановых почвах вклад более крупных фракций (10-50 и 50–250 мкм) возрастает, что указывает на большую минералогическую неоднородность и меньшее содержание тонкодисперсных глинистых частиц. Здесь ключевую роль начинают играть полевошпатовые и кварцевые зерна, в которых концентрируются Si, Al, K, Na, Ca, Sr, Ba, Ti, Zr. В бурых полупустынных почвах выраженное присутствие песчаной фракции как источника элементов (Si, Al, K, Na, CaO, Sr, Ba, Ti, Zr, Mn, P, S, Rb), что может говорить о усиленном литогенном контроле химического состава в данных почвах.

Полученные закономерности отражают в первую очередь различия в минералогическом составе в связи с распределением химических элементов в гранулометрических фракциях степных почв. Наиболее информативной для выявления климатических сигналов отражающих степень выветривания и перераспределения элементов является илистая фракция, накапливающая продукты вторичного минералообразования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 24-24-00244).

УДК 631.46

РОЛЬ ПРОКАРИОТНЫХ СООБЩЕСТВ В ПОЧВАХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ

Манучарова Н.А., Власова А.П., Уваров Г.В., Коваленко М.А., Филатов И.Д., Гаев К.Г., Степанов А.Л.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, manucharova@mail.ru

Актуальным направлением исследований является разработка агробiotехнологий на основе управления естественным почвенным микробиомом, создание микробных препаратов-стимуляторов роста и развития растений, микробиологических способов повышения доли биологического азота в питании растений, деструкторов ксенобиотиков. Не менее важным аспектом является поиск биологически активных веществ (антибиотики, ферменты, пробиотики, гидролитики природных и искусственных полимеров). Рассмотренные направления исследований имеют важное значение для улучшения земельного хозяйства, охраны окружающей среды и разработки природоохранных технологий. С применением молекулярно-биологических методов и биоинформационного анализа исследовано филогенетическое и функциональное разнообразие прокариотного комплекса почвенных микроекосмов. Исследовали образцы чернозема, каштановой, серой лесной, торфяной, дерново-подзолистой почв, подзола, а также погребенные почвы и многолетнемерзлые грунты (Арктики и Антарктиды). Наряду с сокращением разнообразия и численности прокариот в почвах и супрагличальных объектах, подверженных антропогенным или абиогенным нагрузкам, установлено возрастание количества генов, маркирующих способность сообщества к биodeградации ксенобиотиков (отвечающих за синтез катехол-2-3-диоксигеназы (*xylE*), алкан-монооксигеназы (*alkB*) и 1,2-гидроксиафталиндиоксигеназа (*nahC*)), маркирующих начальный этап деградации углеводов, генов, кодирующих превращения азота и уровень метаболизма кофакторов и витаминов. Внесение органического компонента - биочара или минеральных соединений (солей хлорида и нитрата калия) к нефтезагрязненным почвенным образцам приводило к значимому увеличению биомассы прокариот по сравнению с вариантами без их добавления. На фоне возрастания биомассы, разнообразие прокариотной составляющей остается ниже контрольных незагрязненных образцов за счет выхода в доминанты определенных представителей углеводородокисляющих бактерий. В этих же вариантах с добавлением биочара или минеральных солей наблюдается наименьшее содержание остаточных нефтепродуктов и наибольшее число копий функциональных генов (*xylE*, *alkB*, *alkM*), участвующих в разложении нефти. Установлено, что в нефтезагрязненных почвах (инкубируемых при 28°C) при повышении матричного давления почвенной влаги от $P = -800$ кПа до $P = 0$ кПа одновременно с возрастанием численности метаболически активных представителей бактерий и числа копий гена *alkB*, уменьшается остаточное содержание алканов до 51%. Максимальное содержание гена *alkB* отмечено при полной влагоемкости и средней температуре инкубирования (28°C). Наибольшее число копий гена *xylE* установлено при средних значениях матричного давления почвенной влаги и температуры. При каждом исследуемом значении матричного давления почвенной влаги и температуре определены наиболее устойчивые к нефтезагрязнению роды бактерий. В условиях пониженной температуры и повышенной влажности в доминанты выходят представители филума *Pseudomonadota*; с ростом температуры и понижением влажности – спорообразующие представители филумов *Actinomycetota* и *Bacillota*. Таким образом, влияние антропогенной нагрузки изменяет «метаболический профиль» почвенных сообществ, что выражается как в увеличении количества микроорганизмов, обладающих биотехнологически ценными свойствами (кол-во функциональных генов), так и в

изменении состава этих микроорганизмов, что и открывает возможность для поиска новых биотехнологически ценных штаммов. Полученные результаты характеристики метаболически активного прокариотного комплекса почв, его таксономического разнообразия и биотехнологического потенциала могут быть полезны для разработки эффективных стратегий биоремедиации нефтезагрязненных территорий.

УДК 631.432.2

ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕМНОЙ ВЛАЖНОСТИ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ДАТЧИКАМИ-ВИЛКАМИ

Мартынова А.Л.¹, Алимов А.Л.², Кокорева А.А.¹, Архангельская Т.А.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, anle.martynova@gmail.com;

²ООО "Лаборатория Минимакс", Москва, alimoval@mm94.ru

В рамках научной школы Г.В. Добровольского почва рассматривается как критически важный компонент гидросферы, выполняющий буферную функцию по удержанию и сохранению влаги для наземных экосистем. Эта функция реализуется через систему взаимосвязанных процессов, включая способность почвенных горизонтов накапливать атмосферные осадки и регулировать их распределение, защищать почву от эрозии и поддерживать гомеостатическое состояние благодаря активности микробных сообществ, что обеспечивает устойчивость экосистем к внешним воздействиям и сохраняет равновесие в биосфере.

Одной из ключевых количественных характеристик, определяющих эту функцию, является влажность почвы. От влажности почвы зависят как динамические физические свойства почвы, например, теплопроводность, так и поддержание баланса между испарением и доступностью влаги для живых организмов.

Современный подход к изучению роли почвы в гидрологическом цикле учитывает концепцию «зеленой воды» – влаги, аккумулированной в почвенной толще и доступной для поглощения растениями, в отличие от «голубой» воды водоемов и водотоков. Именно «зеленая вода» обеспечивает основную часть биологической продуктивности наземных экосистем. Контроль над содержанием «зеленой воды» позволяет управлять водным режимом почв и продуктивностью агроценозов.

Необходимость мониторинга влажности почвы, в том числе в условиях орошаемого земледелия, а также с целью оптимизации мелиоративных мероприятий ставит задачу разработки надежных экспресс-методов измерения влажности почвы. В настоящее время многие производители предлагают диэлектрические датчики-вилки, которые можно использовать как щупы при разовых измерениях, а также устанавливать стационарно для динамического мониторинга. Контроль влажности почвы с помощью датчиков-вилочек дает преимущество в скорости измерения, в этой связи представляет особый интерес оценка точности работы таких датчиков на почвах разного гранулометрического состава и плотности. Считается, что показания датчика определяются влажностью почвы, заключенной между его иглами. Это значит, что при необходимой предварительной калибровке датчиков можно использовать небольшие образцы почвы, размер которых позволяет полностью погрузить в них иглы датчика. Увеличение размеров тестового образца не должно влиять на результаты калибровки.

Цель исследования: оценка точности измерений объемной влажности среднесуглинистой почвы разными датчиками-вилками. Задачи: а) сравнить показания объемной влажности датчиков-вилочек с данными, полученными термовесовым методом; б) изучить влияние размеров образца почвы на показания датчиков-вилочек.

В качестве объекта исследования были взяты образцы среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы, отобранные из верхнего горизонта лизиметра № 5 Почвенного стационара МГУ.

Исходный материал для лизиметров был отобран в 1960 г. в Подольском районе Московской области из карьера близ станции Щербинка, где были последовательно сняты горизонты дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Почва характеризовалась отчетливым текстурно-дифференцированным профилем с классическим строением: Апак(0-20), А2(20-35), В1(35-60), В2(60-120), В3(120-150). По данным определения гранулометрического состава гумусовый горизонт, а также элювиальный, обеднены илом, иллювиальный горизонт закономерно обогащен. Содержание органического вещества в гумусовом горизонте составляло 2,46% с резким убыванием по профилю, что типично для дерново-подзолистых пахотных почв.

За более 60 лет функционирования свойства почв лизиметров трансформировались, наблюдается укрупнение микро- и макроагрегатов, уплотнение почвенных горизонтов, увеличение трещиноватости верхних слоев.

По состоянию на 2012 г. верхний горизонт почвы лизиметра № 5 имел физико-химические свойства, характерные для дерново-подзолистых почв. В горизонте А (0-10 см) содержание общего углерода составляло 2,52% при кислотности рН 5,81 и плотности 1,12 г·см⁻³. Гранулометрический состав характеризовался преобладанием пылевой фракции (84,8%) при содержании глинистых частиц 11,3% и песчаной фракции 3,9%, что соответствует легкосуглинистому механическому составу. Коэффициент фильтрации достигал 0,7 м·сут⁻¹.

Почвенные образцы подвергали стандартной подготовке: из исходного материала объемом 3 л удаляли крупные корни и посторонние включения, подсушивали до состояния физической спелости, после чего измельчали и помещали в закрытые пакеты для выравнивания влажности почвы в пакете в течение нескольких суток.

Объемную влажность почвы измеряли тремя диэлектрическими датчиками-вилками; показания датчиков сравнивали с результатами измерения влажности термовесовым методом. Общий принцип действия всех использованных датчиков основан на зависимости диэлектрических свойств почвы от содержания влаги, что обусловлено значительной разницей в относительной диэлектрической проницаемости сухого грунта (2–5) и воды (80). Реализация этого общего принципа на практике различается у разных производителей. Измеряются разные показатели прохождения электрического сигнала, которые зависят от диэлектрической проницаемости материала, в который погружен датчик, а в конечном счете – от влажности почвы.

Были использованы датчики с разными измерительными схемами:

- а) Delta-T ML3 ThetaProbe – четырехэлектродный датчик, работающий на принципе высокочастотных колебаний в коаксиальном волноводе. Центральный электрод создает электромагнитное поле, а три внешних электрода образуют экран. Измерение производится в цилиндрическом объеме почвы, ограниченном внешними электродами.
- б) Stevens HydraProbe использует аналогичную конфигурацию четырех электродов, но обеспечивает измерение комплексной диэлектрической проницаемости, что позволяет одновременно определять объемную влажность, электропроводность почвы и температуру.
- в) Takeme-10 – трехэлектродный FDR-датчик с электродами длиной 70 мм, размещенными в одной плоскости. Особенностью данного датчика является создание эллиптической зоны измерения с повышенной чувствительностью в межэлектродном пространстве. Метод FDR (рефлектометрия в частотной области) основан на анализе

спектра сигнала при линейном изменении частоты генератора. Разностная частота между сигналами генератора и отраженным сигналом позволяет определить время прохождения по линии передачи.

Для эксперимента использовали набивные образцы почвы, помещенные в пластмассовые трубки трех диаметров (4,6 см; 7,2 см; 10,0 см), по девять образцов каждого диаметра. Высота трубок составляла 9,1, 9,5 и 8,0 см соответственно, и была достаточной для полного погружения электродов каждого из использованных датчиков. Трубки взвешивали, оборудовали сетчатым дном для фиксации почвенного образца, затем заполняли подготовленной почвой и проводили повторное взвешивание. В качестве стандартной методики использовали термовесовой метод определения влажности. Одновременно с заполнением трубок отбирали пробы почвы в предварительно взвешенные бюксы, высушивали образцы в бюксах до постоянной массы, рассчитывали массовую влажность почвы и через объем и массу образцов в трубках высчитали плотность и объемную влажность почвы в каждой трубке.

Полученные термовесовым методом значения объемной влажности почвы сравнивали с показаниями датчиков-вилки, которые погружали в подготовленные образцы. В каждый образец погружался один датчик. Для каждого сочетания «диаметр – датчик» проводили измерения влажности в трех повторностях на трех образцах. Например, для девяти образцов диаметром 4,6 см в первых трех образцах было проведено три измерения датчиком «Takeme-10», во вторых трех образцах – три измерения датчиком «Delta-T ML3 ThetaProbe» и в оставшихся трех образцах – три измерения датчиком «Stevens HydraProbe».

Результаты измерений объемной влажности почвенных образцов термовесовым методом и тремя разными датчиками-вилками приведены в Таблице. Плотность набивки трубок варьировала от 0,79 до 1,39 г·см⁻³; определенная термовесовым методом объемная влажность образцов менялась от 0,082 до 0,140 см³·см⁻³.

У всех трех датчиков заявленная производителями абсолютная погрешность измерения объемной влажности составляет 0,03 см³·см⁻³. В двух из проведенных двадцати семи парных измерений расхождения выходили за пределы заявленной величины, достигая 0,032 и 0,038 см³·см⁻³. Оба эти случая относились к датчику «Delta-T ML3 ThetaProbe». У датчиков «Takeme-10» и «Stevens HydraProbe» расхождения между показаниями датчиков-вилки и объемной влажностью, определенной термовесовым методом, не выходили за пределы 0,03 см³·см⁻³.

В среднем отклонение показаний датчиков-вилки от значений объемной влажности, полученных термовесовым методом, находилось в пределах заявленной погрешности. Датчик «Takeme-10» в целом несколько занижал влажность почвы; его показания отличались от влажности, определенной термовесовым методом, на $-0,022 \div 0,007$ см³·см⁻³, в среднем по девяти измерениям на $-0,011$ см³·см⁻³. Датчик «Delta-T ML3 ThetaProbe» завышал влажность в среднем на 0,016 см³·см⁻³. Отклонения показаний этого датчика от влажности, полученной термовесовым методом, менялись в пределах от 0,001 см³·см⁻³ до 0,038 см³·см⁻³. Показания датчика «Stevens HydraProbe» отклонялись от полученных термовесовым методом значений и в сторону занижения (до $-0,018$ см³·см⁻³), и в сторону завышения (до 0,028 см³·см⁻³). Среднее отклонение по девяти измерениям составило 0,008 см³·см⁻³.

Таблица. Сравнение показаний датчиков Takeme-10 (q_T), Delta-T ML3 ThetaProbe (q_D), Stevens HydraProbe (q_S) с объемной влажностью почвы по данным термовесового метода (q_0)

Takeme-10	Delta-T ML3 ThetaProbe	Stevens HydraProbe
-----------	------------------------	--------------------

$q_T, \text{см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$	$q_0, \text{см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$	$q_D, \text{см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$	$q_0, \text{см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$	$q_S, \text{см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$	$q_0, \text{см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$
Образцы диаметром 4,6 см					
0,103	0,096	0,112	0,103	0,128	0,123
0,086	0,108	0,112	0,093	0,132	0,140
0,086	0,082	0,106	0,088	0,132	0,104
Образцы диаметром 7,2 см					
0,077	0,094	0,094	0,092	0,107	0,086
0,082	0,095	0,103	0,097	0,120	0,094
0,079	0,089	0,106	0,105	0,113	0,110
Образцы диаметром 10,0 см					
0,087	0,105	0,114	0,082	0,097	0,097
0,090	0,103	0,138	0,118	0,120	0,138
0,094	0,110	0,126	0,088	0,131	0,107

Анализ среднеквадратичных отклонений показаний трех датчиков от измеренной термовесовым методом влажности, рассчитанных по данным измерений на девяти образцах для каждого датчика, показывает, что формально наиболее точным является датчик «Takeme-10» со среднеквадратичным отклонением $0,014 \text{ см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$, второе место занимает датчик «Stevens HydraProbe» со среднеквадратичным отклонением $0,018 \text{ см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$, и наименее точным является датчик «Delta-T ML3 ThetaProbe» со среднеквадратичным отклонением $0,020 \text{ см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$.

Для проверки статистической достоверности этих выводов был проведен однофакторный дисперсионный анализ для выборок модулей отклонений показаний датчиков от измеренной термовесовым методом влажности. Нормальность распределений каждой выборки была проверена с помощью теста Шапиро-Уилка, однородность дисперсий – тестом Левина. Это позволило применить тест ANOVA, который показал, что различия в точности измерений между тремя использованными датчиками не являются статистически значимыми.

Чтобы проанализировать возможное влияние диаметра образцов на точность измерения объемной влажности почвы датчиками-вилками, полученные в экспериментах отклонения показаний датчиков от результатов термовесового метода сгруппировали в соответствии с диаметром образцов. Были получены три выборки, по девять значений для образцов каждого диаметра. Среднеквадратичное отклонение составило $0,016 \text{ см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$ для образцов диаметром 4,6 см, $0,014 \text{ см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$ для образцов диаметром 7,2 см и $0,022 \text{ см}^3 \cdot \text{см}^{-3}$ для образцов диаметром 10,0 см. Таким образом, точность измерения объемной влажности диэлектрическими датчиками для образцов диаметром 4,6 и 7,2 см была практически одинаковой. Эти результаты подтверждают представление о том, что увеличение диаметра калибровочного образца не должно влиять на результаты измерений, и эксперименты по калибровке и тестированию датчиков-вилки можно проводить на небольших образцах, размеры которых достаточны для полного погружения всех электродов датчика в почву. Увеличение ошибок датчиков при увеличении диаметра тестовых образцов до 10,0 см можно объяснить следующим образом. Возможно, в слишком большом по сравнению с заключенным между иглами датчика объемом почвы образце из-за естественной неоднородности только что помещенной в трубку почвы влажность почвы между иглами может отличаться от средней влажности по всему образцу, которую мы измеряем термовесовым методом. При этом получается, что измерения датчиком ведутся на небольшом почвенном образце, заключенном между электродами, а термовесовой метод применяется к другому, существенно большему, образцу, соответствующему объему трубки. В итоге расхождения между полученными

значениями объемной влажности объясняются не только разницей в измерительной методике, но и несовпадением объектов, для которых проводятся измерения. Чтобы минимизировать эти несовпадения при лабораторной калибровке и тестировании диэлектрических датчиков-вилков, мы можем рекомендовать проводить измерения объемной влажности почвы в трубках небольшого диаметра, около 5–7 см. Таким образом, проведенные исследования показали, что точность измерения объемной влажности среднесуглинистой почвы различными датчиками-вилками является сопоставимой. Среднеквадратичные ошибки измерений влажности в диапазоне от 0,082 до 0,140 см³·см⁻³ составили в среднем от 0,014 до 0,022 см³·см⁻³. Самым точным из исследованных датчиков был «Takeme-10», вторым по точности – «Stevens HydraProbe», и наименее точным – «Delta-T ML3 ThetaProbe», который дважды давал отклонения в показаниях, превышавшие 0,03 см³·см⁻³.

Результаты измерений влажности почвы диэлектрическими датчиками в трубках диаметром 7,2 см были чуть точнее, чем в трубках диаметром 4,6 см. Увеличение диаметра образца до 10,0 см привело к уменьшению точности измерений влажности почвы датчиками-вилками, что можно объяснить естественным варьированием плотности почвы и объемной влажности в пределах слишком большого образца.

УДК 631.468.52

УДК 631.43

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В КОМПЛЕКСНОЙ
ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ГОРОДСКИХ ПОЧВ НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ И МАЙКОПА
Мельцаева А.М., Рахлеева А.А., Умарова А.Б.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, meltsaeva_am@rambler.ru

Почвенный покров представляет собой среду обитания огромного количества различных организмов. В почвах урбанизированных территорий, подвергающихся высокой антропогенной нагрузке, зообиота является чутким индикатором их состояния. Так, например, индикатором деградации городских почв могут быть сообщества почвенных микроартропод. Микроартроподы – это многочисленные, повсеместно распространённые почвенные членистоногие, размером от 0,1 до 2 мм, обитающие в почве и на её поверхности на протяжении всего жизненного цикла. В настоящей работе предпринята попытка провести оценку качества почв с помощью индекса биологического качества почв Qualità Biologica del Suolo (QBS), рассчитываемого на основе анализа сообщества микроартропод, с учетом агрофизических свойств почв как показателей окружающей среды. Отметим перспективность данного подхода, так как биологическая оценка качества почв требует отбора и анализа большого количества почвенных проб и сложных видовых определений, а использование характеристик сообществ почвенной зообиоты может сократить время проведения исследований и представить достоверную информацию о состоянии почвы, поскольку численность и таксономический состав сообществ напрямую зависят от физических и химических свойств почвы и реагируют на различные нарушения.

Индекс QBS разработан и широко применяется в Италии для экологического мониторинга, сравнения участков с различными типами землепользования, оценки экологических рисков (Parisi et al, 2005). Суть индекса заключается в том, что чем выше качество почвы, тем больше будет обнаружено групп почвенных животных, специфически адаптированных к обитанию в ней. Каждой таксономической группе, хотя бы один представитель которой обнаружен в почвенной пробе, присваивается балл по экоморфологическому индексу (EMI), основанному на приспособленности животных к обитанию в почве, затем баллы суммируются. С одной стороны, индекс кажется достаточно простым, так как он делит представителей биоценоза на обширные

таксономические группы и не учитывает их численность. С другой стороны, он позволяет оценить сообщество почвенных животных в целом, а значит косвенно учитывать возникающие внутри него связи, системные нарушения и изменения. Также он может более точно отразить изменения окружающих условий, так как включает группы животных с разными требованиями к окружающей среде и разной степенью чувствительности к изменениям.

Целью данного исследования явилась комплексная оценка качества городских почв по биологическим и агрофизическим показателям на примере рекреационных территорий Москвы и Майкопа.

В Москве были изучены верхние горизонты почв больших почвенных лизиметров Почвенного стационара и газона Ботанического сада МГУ, представленные дерниной и подстилающим минеральным слоем. Большие почвенные лизиметры функционируют более 60 лет. Они представляют собой цементные бункеры площадью 8 м², заполненные дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой из Подольского района Московской области, окружённые асфальтированными дорогами и изолированные от окружающего паркового ландшафта. Для проведения исследования были выбраны лизиметр 14 с исходным поверхностным горизонтом Апах и лизиметр 10 с исходным поверхностным горизонтом В2. В Ботаническом саду был выбран участок газона в открытой, но мало посещаемой части сада. Почвы на участке можно охарактеризовать как рекреазём на техногенных отложениях.

В Майкопе исследовали верхние горизонты почв трех участков с разной антропогенной нагрузкой: серая лесная почва лесопаркового массива Мэздах, расположенный в стороне от дорожно-тропиночной сети; урбанозём во дворе Адыгейского государственного университета, со всех сторон окружённый зданиями; агрочернозём выщелоченный газона в оживлённой части центрального городского парка.

Определение основных агрофизических свойств почв проводилось согласно общепринятым методикам. Определение плотности почвы проводилось буром Качинского, плотности твердой фазы почвы – пикнометрическим методом, пористости – расчётным методом, влажности – термостатно-весовым методом. Гранулометрический состав определён методом лазерной дифрактометрии, структурный состав – методом сухого просеивания по Савинову, водоустойчивость агрегатов – методом мокрого просеивания по Савинову, содержание общего углерода – методом сухого сжигания на экспресс-анализаторе. Определение сопротивления расклиниванию проводилось микропенетрометром.

Пробы подстилки и верхней части гумусового горизонта общей мощностью 5 см для анализа сообществ микроартропод отбирались с помощью почвенной рамки площадью 25 см²: на лизиметрах – осенью 2022 г., весной, летом и осенью 2023 г.; в Ботаническом саду – весной, летом и осенью 2023 г.; в Майкопе – летом 2024 г. Почвенные животные экстрагировались из почвенных проб методом эклиторной выгонки Берлезе-Тулльгрена. Проведенные анализы показали, что все исследованные почвы Москвы являются тяжелыми, по содержанию физической глины они близки по значениям, различия не превысили 3 %: гор. Апах (лизиметр 14) представлен суглинком средним (39.13 %), гор. В2 (лизиметр 10) суглинком тяжёлым (42.04 %), почва газона Ботанического сада – суглинком тяжёлым (41.82 %). Величины плотности лизиметрических почв являются оптимальными для роста и развития растений – 1.09 г/см³ и 1.16 г/см³, соответственно, а почва газона – рыхлая, ее плотность составила в среднем 0.91 г/см³. По содержанию агрономически ценных агрегатов диаметром 0,25-10 мм все три почвы попадают в категорию отличного агрегатного состояния, однако отчетливо выражены различия между гор. В2 пах с высоким содержанием глыбистой фракции, размером более 10 мм (28 %), и гор. Апах и гумусовым горизонтом Ботанического сада с очень близкими распределением агрегатов разного диаметра. По водоустойчивости почвы попадают в разные категории

водопрочности агрегатов: гор. Апах гор. В2 (лизиметр 10) – избыточно высокая, гор. Апах (лизиметр 14) – удовлетворительная, почва Ботанического сада – хорошая.

Значимые различия наблюдаются по двум важным для почвенных животных свойствам – влажности и содержанию общего углерода. Значения влажности почв Ботанического сада выше, чем почв лизиметров, причём данная тенденция сохраняется для всех сроков измерений, как для массовой, так и для объёмной влажности. Например, объёмная влажность, измеренная единовременно осенью 2023 г., составила в почвах Ботанического сада – 42 %, 10 лизиметра – 33 %, 14 лизиметра – 34 %. Отметим, что почвы Ботанического сада обогащены общим углеродом, его содержание достигает 5-7 %, а в почвах лизиметров не превысило 2-3 %.

Индекс качества почв QBS был рассчитан для всех сроков отбора проб. Для сравнительного анализа всех почвенных объектов Москвы был определен средний суммарный балл индекса QBS за 2023 год, который составил в почвах 10-го лизиметра – 97.3, 14-го лизиметра – 106.3, Ботанического сада – 117.3. В целом, значения индекса достаточно близки во все сроки отбора проб, но весной и осенью значения индекса для почв Ботанического сада выше, чем для почв лизиметров. Летом же суммарный балл для почв лизиметра 10 превышает баллы для других почв. Различия в баллах в отдельные сезоны обусловлены спецификой самого показателя: его резким ростом в случае появления даже единичных экземпляров тех или иных таксонов почвенных животных. Например, весной значения индекса для почвы Ботанического сада оказались выше, чем значения для почв лизиметров: на 24 балла для лизиметра 14 и на 53 балла для лизиметра 10. Такая значимая разница в баллах обусловлена наличием в почвенных пробах из Ботанического сада одной мокрицы (20 баллов EMI), нескольких диплур (20 баллов EMI) и симфил (20 баллов EMI), которые в другие сроки отбора проб присутствуют и в почвах лизиметров.

Таким образом, на основании индекса формально можно сделать вывод о том, что качество почв в Ботаническом саду выше, чем в лизиметрах, и качество почв в лизиметре 14 выше, чем в лизиметре 10. Но сезонная динамика показала, что ранжирование по индексу сильно меняется в разные сроки учёта, и часто разница в суммарных баллах находится в пределах 5-15 баллов. Зная об эффективности применения индекса QBS для оценки качества почв при разных типах землепользования, при применении различных агротехнических приёмов, можно сделать вывод о том, что этот индекс может широко использоваться для сравнения биотопов с более контрастными почвенными условиями. При выраженных различиях свойств поверхностных горизонтов почв (плотность и влажность почв, содержание углерода), значения индекса QBS для трёх участков оказались сопоставимыми, но всё же чуть более высокими для почвы Ботанического сада. Верхние горизонты почв трёх участков, изученных в Майкопе, достаточно близки по гранулометрическому составу и плотности (Мэздах – средний суглинок, 1.32 г/см³; АГУ – лёгкая глина, 1.35 г/см³; Парк – средний суглинок, 1.30 г/см³). По содержанию общего углерода различия значимы: Мэздах – 4.65 % (высокое), АГУ – 3.70 % (среднее), Парк – 1.95 % (низкое). По сопротивлению пенетрации различия критически важны: на участках Мэздах и АГУ значения невысокие, на участке Парк значения как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях погружения плунжера приближаются к отметке 3 МПа, при которой прекращается рост корней и, вероятно, затрудняется перемещение почвенных животных.

Наиболее высокий балл индекса QBS, сопоставимый со средним по Ботаническому саду Москвы, имеет почва участка Мэздах (Таблица 1). Низкий балл, полученный для почвы участка Парк, отражает низкую численность и низкое таксономическое разнообразие артропод. Интересно, что суммарные баллы индекса для участка АГУ более чем в два раза ниже, чем для участка Мэздах, однако показатели численности микроартропод демонстрируют обратную тенденцию: низкие на территории Мэздах – 22720±3500 экз./м² и высокие – для двора АГУ – 45440±5472 экз./м² (среднее ± ошибка средней).

Таблица 1. Оценка качества исследуемых почв по индексу QBS на основании баллов по шкале эко-морфологического индекса (EMI).

	EMI	Парк	АГУ	Мэздах
Collembola	1-20	10	10	10
Diplura	20			20
Psocoptera	1	1		1
Hemiptera	1-10	1	1	
Coleoptera	1-20		10	10
Hymenoptera	1-5		5	5
Diptera L	10			10
Other holometabolous L	10		10	10
Acari	20	20	20	20
Diplopoda	1-20		5	20
Symphyla	20			20
Индекс QBS		32	61	126

Анализ вариабельности значений суммарного балла индекса QBS, показал, что для исследованных почв Москвы индекс даёт близкие и достаточно высокие значения, что соответствует оптимальным значениям основных агрофизических свойств почв. Чуть более высокие значения индекса для почвы Ботанического сада отражают более высокое таксономическое разнообразие на участке, объясняемое, вероятно, более высоким содержанием углерода и нахождением участка в пределах парковой зоны, в отличии от лизиметров, окружённых асфальтированными дорожками и изолированных от озеленённых территорий.

Для участков Майкопа различия в суммарных баллах более ярко выражены. Самый низкий балл получен для почвы участка Парк, где значения одного из агрофизических показателей – твёрдости почв – приближаются к критическим величинам. Самый высокий балл, как и в Москве, получил открытый участок в парковой зоне с более высоким содержанием углерода. Таким образом, можно сделать вывод о том, что оценка качества почв по индексу QBS согласуется с агрофизическими параметрами, и при выходе значений свойства за оптимальные пределы, значение индекса существенно снижается. Кроме того, и в Москве, и в Майкопе индекс отразил различия в содержании общего углерода, особенности антропогенной нагрузки и степени изолированности территории. Учитывая простую и достаточно быструю процедуру отбора и анализа почвенных проб и подсчёта индекса QBS, он может быть эффективно использован для сравнения участков с контрастными почвенными условиями и антропогенной нагрузкой. Возможно, индекс может быть усовершенствован с помощью введения пороговых значений численности представителей наиболее распространённых таксономических групп почвенных животных для начисления баллов.

Благодарности. Исследование проведено в рамках научно-образовательного консорциума «Вернадский - Республика Адыгея». Авторы благодарят директора МУП "Горпарк Культуры и Отдыха" г. Майкопа Б.Б. Докумова за возможность проведения научных работ и всестороннюю поддержку.

УДК 631.48:631.41

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛИТОГЕНЕЗА И КРИОГЕНЕЗА ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА В ПОЧВАХ ЦЕНТРА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ КАК АРХИВ ДАННЫХ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Овчинников А.Ю.

ФИЦ ПНЦБИ РАН, ИФХиБПП РАН, Пущино, e-mail ovchinnikov_a@inbox.ru

В современном учении о почве как части биосферы историко-генетические проблемы литогенеза и педогенеза до сих пор остаются актуальными. Изучение формирования позднелейстоценовых отложений или почвообразующих пород современных почв, входит в задачу важнейших разделов палеогеографии и почвоведения. Совокупность и очередность процессов литогенеза и педогенеза в позднем лейстоцене связаны с действием климатического фактора, определившего разный сценарий природного процесса с отложением и преобразованием материала разного генезиса.

Для Восточно-Европейской равнины и северного полушария Земли для позднего лейстоцена предложены различные концепции изменения палеогеографических обстановок. В данный период происходила смена похолоданий (стадиалов) и потеплений (интерстадиалов), внутри которых изменялась интенсивность и направленность процессов осадконакопления, рельефообразования, почвообразования.

Известно, что изменения природной среды в период МИС 2 происходили на фоне прогрессивного нарастания похолодания. В условиях холодного климата преобладали преимущественно процессы литогенеза и криогенеза, которые на современной дневной поверхности отразились в палеокриогенном микрорельефе. Анализ литературы показал, что реликтовый микрорельеф и формирующие его отложения остаются объектами исследования многих специалистов. Интерес связан с тем, что формирующие микрорельеф отложения содержат в себе многочисленные реликты и архивы данных перигляциального криогенеза и педогенеза, которые, оказывают влияние на современное голоценовое почвообразование.

Однако, как оказалось, некоторые закономерности остались без внимания, недостаточно ясны различия в проявлении процессов лито- и криогенеза позднего лейстоцена в отложениях и почвах разных природных зон центра Восточно-Европейской равнины (ВЕР), что и явилось целью данной работы.

Объектами исследования послужили позднелейстоценовые отложения (покровные лёссовидные суглинки, флювиогляциальные пески), являющиеся почвообразующими породами современных почв. Участки исследования располагались в трех почвенных зонах центра ВЕР: дерново-подзолистых почв, серых почв и черноземов. Территория исследования в эпоху валдайского оледенения располагалась в перигляциальной области, участки исследования изучались последовательно от приледниковой ее части к периферийной. Приводимый материал собран автором при полевых исследованиях около 25 разрезов-траншей в 6 субъектах Российской Федерации в меридиональном направлении протяженностью около 1500 км. Полученные материалы подкреплялись данными, опубликованными в литературе.

В ходе проведенного исследования впервые в широком географическом аспекте получены результаты, демонстрирующие разную степень проявления процессов позднелейстоценового криогенеза, литогенеза (седиментогенеза) и педогенеза в центре ВЕР. Для данной территории выявлены и систематизированы: палеокриогенные явления, специфика процессов литогенеза и педогенеза, выраженность палеокриогенного микрорельефа.

В центре ВЕР в перигляциальной зоне валдайского оледенения в пределах 1500 км выявлена зональность в проявлении палеокриогенного микрорельефа, что обусловлено разной напряженностью криогенных процессов в прошлом. Как оказалось территория, занимаемая дерново-подзолистыми почвами, расположенная в приледниковой перигляциальной зоне валдайского оледенения, позже, чем другие территории, высвободилась от влияния процессов криогенеза. Это определило формирование более выраженного микрорельефа, не способствовало его нивелированию, также свою роль сыграл антропогенез.

Результаты процессов поздневалдайского криогенеза отчетливо выражены в различных по составу отложениях, выявлены в разных почвенных зонах центра ВЕР, обладают разными морфогенетическими особенностями, залегают на разной глубине, погребены разным по

мощности осадком. Расположение территории, а также состав и свойства в значительной мере определяли интенсивность процессов криогенеза. Средневалдайские и поздневалдайские отложения на изученных территориях имеют разный генезис, время и мощность, то есть, имеют закономерность или зональность в центре ВЕР.

Полученные результаты для исследуемой территории показали, что процессы педогенеза, литогенеза и криогенеза сменяли друг друга или происходили одновременно. Как выяснилось в периферийной части в черноземной зоне процессы педогенеза, литогенеза и криогенеза происходили несколько раньше, чем в гумидных регионах, последние же были незначительными и кратковременными. На данной территории долгое время существовала стабильная и благоприятная для педогенеза обстановка в периоды МИС 3 и МИС 1, о чем свидетельствуют хорошо развитые профили современных почв и разновременных палеопочв.

Центральная часть перигляциальной области в зоне распространения серых почв и черноземов лесостепной зоны также прошла все стадии природного процесса криолитопедогенеза. В этой зоне представлены развитые профили средневалдайских погребенных почв, сформированы наиболее крупные и развитые для всей перигляциальной области палеокриогенные структуры. Почвенно-грунтовые толщи, вмещающие палеокриогенные структуры и погребавшие их, значительно мощнее, чем в других изученных территориях. То есть, данная территория по сравнению с другими, оказалась во власти максимально интенсивных процессов литогенеза (седиментогенеза), сопровождавшихся наиболее экстремальными условиями процессов криогенеза.

Несмотря на то, что северная приледниковая часть перигляциальной области находилась под максимальным и продолжительным воздействием ледникового покрова, находясь вблизи границы его распространения, процессы крио-, лито- и педогенеза в зоне распространения дерново-подзолистых почв исследуемой территории в разные эпохи были кратковременными, что вероятно, связано с динамикой существования и деградации ледникового покрова, проявившееся в дефиците переносимого минерального материала, а также ослаблением и кратковременностью криогенных процессов. В данных почвенных толщах горизонты средневалдайских ПП не выявлены, и, вероятно, это может быть связано: с недостаточностью времени для их формирования в прошлом в результате длительного нахождения данной территории в перигляциальной области, что проявлялось в минимизации процессов педогенеза, а впоследствии – с их деградацией процессами лито- и криогенеза или диагенезом в поздневалдайское время. Морфогенетические особенности дерново-подзолистых почв (меньшая мощность профиля, в целом, и гумусового, в частности, и другие свойства) по сравнению с серыми почвами и тем более с черноземами, несомненно, связаны с их географическим расположением и природно-климатическими условиями, в которых они формируются. На наш взгляд процессы педогенеза на данной территории стартовали несколько позднее, чем в центральных и, тем более южных районах центра ВЕР.

За рассмотренный интервал времени от финала МИС 3 до современности МИС 1 валдайский ледник обеспечивал поэтапную смену и интенсивность процессов в перигляциальной области по направлению с юга на север, от периферийной части к приледниковой. То есть, во времени с начала формирования, расцвета и деградации ледникового щита происходила разновременная, зональная и с разной интенсивностью проявления смена процессов педогенеза, литогенеза (седиментогенеза) и криогенеза, и вновь литогенеза и педогенеза на разных территориях центра ВЕР.

УДК 378.374

ЛЕТНЯЯ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА «ЖИВАЯ НАУКА: СТУДЕНТЫ – ШКОЛЕ»: ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ И РАСШИРЕНИЕ НАУЧНОГО КРУГОЗОРА ШКОЛЬНИКОВ В РАМКАХ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ МАГИСТРАНТОВ ФАКУЛЬТЕТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Орешникова Н. В.¹, Рахлеева А. А.², Рыхликова М. Е.³, Мартыненко И. А.⁴

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: 1 – oreshinka@list.ru;

2 – a.rakhleeva@gmail.com; 3 – ecofriends@yandex.ru; 4 – martynenko.irina@gmail.com

В 2015 году на факультете почвоведения были открыты программы интегрированной магистратуры по направлениям подготовки «Почвоведение» и «Экология и природопользование». Согласно учебным планам этих программ, магистранты первого года обучения должны проходить научно-педагогическую практику. Одна из таких практик была разработана сотрудниками кафедры географии почв и реализуется на факультете почвоведения с 2016 года.

За прошедшие десять лет содержание практики дорабатывалось и видоизменялось, что обусловлено велением времени. Изначально в первой поставленной перед магистрантами задаче им требовалось разработать план проведения занятий в летнем экологическом лагере в конкретном заданном регионе для определенной возрастной группы школьников, учитывая при этом все необходимые методические нормативы и санитарные требования. Во второй задаче студенты выступали в роли руководителей почвенно-экологических исследовательских проектов школьников, представляя подробный план проведения полевых и лабораторных работ с учетом требуемой приборной базы, а также дальнейшей обработки и представления материалов.

Довольно скоро стало понятно, что отсутствие реального опыта работы со школьниками не дает магистрантам в полную силу почувствовать себя в роли преподавателей. И тогда было принято решение организовывать летнюю почвенно-экологическую школу, на которую приглашать школьников Москвы и Подмосковья, что позволило студентам приобретать полноценный педагогический опыт. Пандемия Covid-19 внесла свои коррективы в формат проведения занятий. Их пришлось вести дистанционно. Однако это дало неожиданный положительный эффект. К занятиям в школе смогли подключаться школьники со всех регионов нашей страны. Аудитория участников занятий существенно расширилась. После завершения пандемии проведение почвенно-экологической школы было решено оставить в смешанном очно-заочном формате.

Приобретение педагогического опыта студентами за время обучения в вузах – очень важная составляющая образовательных программ. В образовательных стандартах и предыдущих, и последнего поколения по естественно-научным направлениям, в частности по направлениям подготовки «Почвоведение» и «Экология и природопользование», среди профессиональных компетенций, которыми должны обладать выпускники, есть педагогические. Например, владение навыками работы по программам дополнительного образования детей и взрослых. Предполагаемый в ближайшее время переход на образовательные программы базового высшего образования (по сути, специалитета) не только не отменяет педагогические компетенции выпускников, но и усиливает требования к знаниям и навыкам студентов в этой сфере. Планируется введение в образовательные программы педагогического модуля, в котором, безусловно, одним из образовательных элементов будет педагогическая практика студентов.

Научно-педагогическая практика – одна из тех практик, на которой студенты учатся взаимодействовать не только друг с другом, но и с целым коллективом учащихся; здесь формируется умение действовать в нестандартных ситуациях и критически мыслить. Традиционно в практике принимают участие магистранты кафедр: географии почв, радиоэкологии и экотоксикологии, биологии почв, общего земледелия и агроэкологии, земельных ресурсов и оценки почв, агрохимии и биохимии растений. Практика проходит на протяжении десяти лет, но тематика ни одного вебинара и мастер-класса ни разу не повторилась. Магистранты каждый год поражают своей креативностью и творческим подходом в подготовке заданий для школьников, преподнося, казалось бы, известные факты совершенно по-новому. При этом материал доступен пониманию подростков, что неоднократно было отмечено самими школьниками, уже не первый год посещающими почвенно-экологическую школу. Юные почвоведы и экологи каждый раз с нетерпением

ждут мастер-классов, на которых они выполняют интересные задания, а порой уходят после них с небольшими «презентами» от магистров. Так, в 2024 году школьники посадили семена микрозелени и уже дома смогли наблюдать за ее ростом и попробовать на вкус.

Подготовку вебинаров, которые проходят в дистанционном режиме, а также очных мастер-классов для почвенно-экологической школы «Живая наука: студенты школе» магистранты проводят в малых группах (2–3 человека). Приоритетом выбора тематики, как правило, служат те направления научных исследований, которыми они занимаются, а также используются знания, полученные при прослушивании курсов и на практиках, осваиваемых студентам во время обучения на факультете.

Названия вебинаров и мастер-классов формулируются не только информативно, но и несут в себе некую интригу, чтобы привлечь внимание школьников. Так, тематика вебинаров, подготовленных магистрантами-почвоведками, способствует углублению знаний школьников о почвах, их значении в биосфере и жизни человека, проблемах городских почв: «Секрет жизни на Земле: от почвы к человеку», «#НеГрязь», «Дороже жемчуга и злата», «Зеркало городского ландшафта».

На дистанционных занятиях студентов-радиоэкологов юные слушатели знакомятся с явлениями природной и антропогенной радиоактивности, а также проблематикой современной радиоэкологии: «Радиоактивность в жизни природы и человека: мифы и реальность», «Маленькие частицы – большие последствия», «Радиоэкология сегодня: от взрыва сверхновой до экологического мониторинга».

Вебинары магистрантов кафедр общего земледелия и агроэкологии, агрохимии и биохимии растений существенно расширяют знания школьников о потребностях сельскохозяйственных растений в макро- и микроэлементах, об агротехнических приемах современного земледелия, об инвазионных и карантинных видах растений и, напротив, растениях-ремедиантах, способствующих очищению почв: «Мифы об агрохимии, или зачем выращивать клубнику на балконе», «Инвазии растений: кто свой, кто чужой?», «Спасатели под прикрытием: кто такие фиторемедианты».

Вебинары магистрантов-экологов кафедр географии почв, земельных ресурсов и оценки почв посвящены решению глобальных и региональных экологических проблем: «Глобальные изменения климата: причины, последствия, пути предотвращения», «Двойная жизнь нефти: от полезного ископаемого к источнику проблем», «Жизнь после природных и техногенных катастроф», «Когда воздух дороже золота: чем дышат космонавты?», «Услуги» растений в городе».

К сожалению, дистанционная форма обучения на вебинарах существенно сокращает личный контакт лектора и слушателей. Однако в случае он-лайн лекций, читаемых студентами факультета почвоведения, эта проблема была полностью устранена посредством интерактивной составляющей, которая в обязательном порядке присутствовала на вебинарах. После изложения части материала магистранты предлагали школьникам ответить на ряд вопросов, вовлекая их в обсуждение услышанного, а также выявляя непосредственные знания по данной тематике. Общение происходило в чате конференции, ответы зачитывались, и тем самым обратная связь постоянно поддерживалась. Все это осуществлялось благодаря командной работе магистрантов, роли которых были распределены заранее. В ходе проведения практики отмечено, что студенты и сами предлагают и разрабатывают новые формы подачи сложного материала. Например, для раскрытия темы, касающейся экологических проблем при разработке угольных месторождений, магистранты применили в своем изложении знакомую школьникам компьютерную игру: «Minecraft VS Реальность: экологические проблемы угледобычи», и в игровой соревновательной форме смогли рассказать о возникающих неблагоприятных для окружающей среды последствиях при добыче этого природного ископаемого.

Тематика очных мастер-классов не менее увлекательна: «Почва – всему голова, или что у нас под ногами», «Все оттенки зеленого», «Такая разная вода: пить или не пить»,

«Невидимый мир города», «SWOT анализ экобизнеса», «Методы детективного жанра на службе у экологов», «Цветик семицветик: роль растительных пигментов» (рис. 1), «Наши съедобные друзья: современное растениеводство», «Не во поле березонька стояла: экологический мониторинг городской среды по древесным насаждениям», «Я б в картографы пошел, пусть меня научат: технологии на службе почвоведов и экологов», «Мусорный код: ориентируйся в мире отходов и создавай экобудущее».

Несмотря на оригинальность и, зачастую, игривость названий мастер-классов, все они проводятся на современной приборной базе факультета. При этом задействованы и компьютерные классы, и химические лаборатории разных кафедр (агрохимии и биохимии растений, биологии почв, географии почв, радиоэкологии и экотоксикологии).

Современная приборная база позволяет ознакомить школьников с интересными научными исследованиями в различных областях экологии и почвоведения от определения таких свойств почв, как гранулометрический состав и кислотность, до анализа содержания хлорофилла в растениях и методик стратегического планирования в области экологических бизнес-проектов. При этом на мастер-классах нет возрастных ограничений, все занятия проводятся в строгом соответствии с требованиями техники безопасности, санитарных норм и правил, а консультативная помощь студентов и преподавателей позволяет любым школьникам справляться с заданиями.



Рис. 1. Фрагмент мастер-класса «Цветик семицветик: роль растительных пигментов», Летняя почвенно-экологическая школа «Живая наука: студенты – школе» – 2024.

Важно отметить, что на проводимых магистрантами занятиях школьники являются не только обучаемыми, но и экспертами, так как они сразу после прослушанной лекции или практического занятия оценивают магистрантов по пятибалльной шкале, сопровождая свои оценки комментариями, касающимися тематики занятия, доступности изложения материала, информативности и красочности презентации и т. п. Вебинары и мастер-классы вызывают неподдельный интерес слушателей разного возраста, что отражается в комментариях при оценке работы студентов: «Студенты очень понятно излагают информацию. Спасибо им большое!!!», «Мне лекция очень понравилась, были интересные вопросы, эта тема очень актуальна в наше время», «Хорошо запомнились методы рекультивации земель. Понравилось, что ведущие данного вебинара заинтересованы в этой сфере и отвечали на возникшие вопросы в ходе конференции, а также понравилось наличие различных викторин».

В работе Летней почвенно-экологической школы принимают участие не только школьники, но и их наставники – учителя и педагоги дополнительного образования. По отзывам педагогов, вебинары и очные практические занятия способствуют появлению у них свежих идей и разработок, востребованных при проведении кружковой работы и

организации научно-исследовательской деятельности учащихся. Хочется привести отзыв учителя биологии из школы № 4 г. Наро-Фоминска Ирины Владимировны Родионовой, которая на протяжении двух последних лет привозит группу школьников на занятия магистрантов: «Прошу передать благодарность магистрантам и преподавателям факультета почвоведения за организацию занятий «Живая наука: студенты – школе». В этом году я приехала не только с детьми, а еще и с коллегой – учителем иностранного языка и музыки. Посетив занятие по утилизации отходов, она попросила добавить ее в чат летней школы для учителей. Она, человек совершенно далекий от этих вопросов, хочет слушать лекции по почвоведению и экологии! Потому что очень интересно! Занятие проходит на одном дыхании. А я, как учитель биологии, очень признательна за готовые лекала научной работы со школьниками разного возраста. Низкий вам поклон! В прошлом году ребята, посетившие занятия, организовывали подобные мастер-классы, игры и викторины для начальной школы. Мы зажигаем сердца детей, а вы зажигаете наши! Большое вам спасибо!» (<https://soil.msu.ru/postuplenie/postupayushchim-v-bakalavriat/5051-vii-letnyaya-pochvenno-ekologicheskaya-shkola-zhivaya-nauka-studenty-shkole-itogi>).

Количество и география слушателей вебинаров, а также участников мастер-классов неуклонно растут с каждым годом. Так, если в 2023 году в школе приняли участие 35 школьников 1–10 классов, 4 педагога и 4 родителя из Москвы, Санкт-Петербурга, Брянской, Ленинградской, Новосибирской и Ярославской областей, то в 2024 – 53 учащихся 3–11 классов из 24 школ Москвы, Новороссийска, Московской и Курской областей. А в 2025 в вебинарах приняли участие 135 человек, включая 6 учителей и 129 школьников со 2 по 11 классы из 15 городов, в том числе из Москвы, Московской области, Санкт-Петербурга, Калуги, Калининграда, Казани и Перми. На мастер-классы приехало 53 участника.

Во время мастер-классов у школьников есть возможность не только расширить свой кругозор в области экологии и почвоведения, но и в неформальном общении с преподавателями-магистрантами подробнее знакомиться с самим факультетом, получать новую информацию о кафедрах, о направлениях научных исследований, осуществляемых студентами. Таким образом, Летняя почвенно-экологическая школа дополняет систему мероприятий факультета (Фестиваль Науки, Дни открытых дверей, Олимпиада школьников «Ломоносов» по экологии, День Земли, День экологии, День почвы и др.), направленных на профессиональное ориентирование школьников и привлечение талантливой молодежи на факультет почвоведения.

УДК 631.43

СОДЕРЖАНИИ МЕДИ В ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПОЧВ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ АМУДАРЬИ

Атаев Язгулы

Туркменский сельскохозяйственный институт, факультет агрономический, старший преподаватель, г. Дашогуз, Туркменистан

Email: yazgulyatayew@gmail.com;

Гурбанова Огултач Ягшыевна

Туркменский сельскохозяйственный институт, факультет агрономический, преподаватель, г. Дашогуз, Туркменистан

Email: gurbanowaogultac20@gmail.com;

Палязова Янгилжон Закировна

Туркменский сельскохозяйственный институт, факультет агрономии, старший преподаватель, г. Дашогуз, Туркменистан

Email: yangilnonnazikjemal@gmail.com

Медь – необходимый питательный элемент для растений. При отсутствии меди растения погибают, а при недостатке – болеют. В растениях медь содержится в небольшом количестве и колеблется от 1,5 до 8,1 мг/кг сухого вещества. По данным Л.П. Виноградова (1957) в различных почвах в среднем содержится следующее количество меди: в черноземе – 5,6 мг/кг, дерново-подзолистой – 2,4 в каштановой – 8,0 и в сероземе – 4,4. По определению содержания подвижных форм меди в почвах Центральной Азии выполнена большая работа. Е.К. Круглова на основе своих исследований дает следующее градации обеспеченности почв медью: низкая до 0,4-0,8. Ниже приводятся наши данные, характеризующие обеспеченность подвижной медью по типам почв нижнего течения Амударьи.

Луговые почвы один из наиболее распространенных типов оазиса. Данные по содержанию подвижной меди характеризуются результатами анализов почвенных разрезов, заложенных в 10 хозяйствах 7 этрапов на посевах 4-х культур: хлопчатника, риса, люцерны и кукурузы. В пределах обследованного типа наибольшее распространение имеют среднеобеспеченные почвы (0,4 – 0,8 мг/кг), затем, в убывающем порядке, высоко и низко обеспеченные.

Низкообеспеченные почвы, нуждающиеся в применении медных удобрений имеются, в основном, в Ленинском и Ильялинском районах (ныне Акдепинском этрапе).

По горизонтам разрезов определенной закономерности по содержанию подвижной меди не обнаружено. Но увеличение или уменьшение во содержания больше всего зависело от механического состава почвы. С утяжелением мехсостава, как правило, содержание рассматриваемого питательного вещества возрастало. Выявлены почвы, требующие применения медных минеральных удобрений, это прежде всего земли с легким механическим составом.

Лугово-такыровидные почвы засолены в различной степени, отличаются низким содержанием гумуса и питательных веществ. Наибольшее распространение имеют низко обеспеченные почвы, затем среднеобеспеченные.

Содержание подвижной меди по горизонтом разрезов сравнительно однородный, хотя с глубиной ее содержание в большинство случаев несколько увеличивается.

Такыровидные почвы по содержанию подвижной меди характеризуются низко и среднеобеспеченными. Для характеристики типа заложены в разреза в 2-х районов на посевах хлопчатника. По горизонтом содержание меди сравнительно равномерно, но в Куня-Ургенчском этрапе с глубиной повышается.

В строении профиля лугово-болотные почвы отмечается слабая дифференциация на генетические горизонты. В большинство случаев механический состав этих почв суглинистый и глинистый. По засолению они довольно разнообразны.

Для характеристики почв заложены 3 разреза в 3-х хозяйствах 3-х этрапов на посевах хлопчатника и овощей.

Почвы в основном средне и высокообеспеченные. По горизонтам содержание подвижной меди сравнительно однородное.

Для характеристики заложены пустынно-песчаных почвах 4 разреза в 3-х хозяйствах 3-х этрапов на посевах хлопчатника и люцерны. Как и следовало ожидать, все почвы данного типа по содержанию подвижной меди относится к низко обеспеченной группе (до 0,4 мг/кг), что согласуется с результатами предыдущих наших исследований, проведенных в хозяйствах Прикопетдагской подзоны Туркменистана. Приведенные данные позволяют сделать практический вывод о том, что на пустынно-песчаных почвах

Нижнеамударьинской подзоны следует применять медные микроудобрения под возделываемые сельскохозяйственные культуры.

Аннотация

Медь – необходимый питательный элемент для растений. При отсутствии меди растения погибают, а при недостатке - болеют. В растениях медь содержится в небольшом количестве и колеблется от 1,5 до 8,1 мг/кг сухого вещества. По данным Л.П. Виноградова (1957) в различных почвах в среднем содержится следующее количество меди: в черноземе – 5,6 мг/кг, дерново – подзолистой - 2,4 в каштановой – 8,0 и в сероземе - 4,4. По определению содержания подвижных форм меди в почвах Центральной Азии выполнена большая работа. Е.К. Круглова на основе своих исследований дает следующее градации обеспеченности почв медью: низкая до 0,4-0,8. Ниже приводятся наши данные, характеризующие обеспеченность подвижной медью по типам почв нижнего течения Амударьи.

Annotation

Copper is an essential nutrient for plants. Without copper, plants die, and with a deficiency, they become ill. Copper is contained in plants in small quantities and ranges from 1.5 to 8.1 mg / kg of dry matter. According to L.P. Vinogradov (1957), various soils contain the following average amounts of copper: chernozem - 5.6 mg / kg, sod - podzolic - 2.4, chestnut - 8.0 and sierozem - 4.4. Much work has been done to determine the content of mobile forms of copper in the soils of Central Asia. E.K. Kruglova, based on her research, gives the following gradations of soil copper supply: low to 0.4-0.8. Below are our data characterizing the supply of mobile copper by soil types in the lower reaches of the Amu Darya.

Ключевое слово: хлопчатник, микроудобрения, орошаемая почва, лугово-болотные почвы, такыровидные почвы, посев, полив, минеральными удобрения, урожайность.

Выводы.

1. Наибольшее количество подвижной меди отмечено на солончаках и лугово-болотных почвах, наименьшее - на пустынно песчаных.
2. Установлена зависимость содержания подвижной формы меди от механического состава почв и степени окультуренности. На почвах большего тяжелого механического состава содержится больше меди, нежели легкого. Так же с возрастанием степени окультуренности почвы увеличивается количество подвижной меди.

Все исследованные почвы в зоне нижнего течения Амударья сильно карбонатны (6,5-12,5%), поэтому корреляция содержания меди с этим показателем не установлена.

Использованная литература

1. Руководство по возделыванию хлопчатника – А.: Туркменский государственный издательский служба, 2022.
2. Гурбангелдиев С., Чапау А., Акмырадов Ш., Конопля С. Усовершенствованный способ получения семян хлопчатника. Журнал «Сельское хозяйство Туркменистана». № 12. 1999.
3. Гурбангелдиев С., Чапау А., Акмырадов Ш., Конопля С. Руководство по усовершенствованному способу получения элитных семян внедряемых в производство элитных семян сорта хлопчатника. Ашхабад. 2000.
4. Сорта хлопчатника, созданные в золотом веке. А.: Наука - 2008.
5. Ягшиев А. Минеральные удобрения и качественные волокна // Хлопководство. 1986. № 4.
6. Равшанов Б., Сейткулиев Я., Мередов К. Влияние удобрений на технологические свойства волокна // Хлопководство. 1982. № 1.

УДК 551.89

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ЦЕНТРА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ В СРЕДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ – КАМЕНСКОЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ (МИС 7)

Панин П.Г.¹, Калинин П.И.², Бухонов А.В.³, Кубарев Е.Н.⁴

¹ИГ РАН, Москва, e-mail: pgpanin@igras.ru;

²ИФХиБПП РАН, Пущино, e-mail: kalinin331@rambler.ru;

³ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзор, Мытищи, e-mail:

buhonovav@mail.ru;

⁴МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: kubarevmsu@mail.ru

Изучение палеопочв играет важную роль в моделировании будущих климатических изменений. Восточно-Европейская равнина представляет собой значительную территорию, где в отложениях лёссов вскрываются палеопочвы среднеплейстоценового возраста. В рамках данного исследования были изучены лёссовые разрезы, расположенные вдоль трансекты Москва-Элиста: Ожерелье-2020 и Павловское (Московская обл.), Лихвин-2018 (Тульская обл.), Стрелица-2017 (Воронежская обл.), Семь Тополей (Волгоградская обл.) и Беглица-2017 (Ростовская обл.). В период каменского межледниковья формировалась раннекаменная межледниковая палеопочва, примерной возраст которой соответствовал ~232-243 тысяч лет, согласно периодизации климатических циклов на Земле, основанной на анализе изотопов кислорода морских донных отложений – это соответствует морские изотопные стадии (МИС) 7.

Проведенный комплекс исследований позволил классифицировать палеопочвы и выявить их особенности строения. Анализ свойств палеопочв путем сопоставления с характеристиками современных аналоговых почв позволяет реконструировать климатические условия каменского межледниковья. Были проведены измерения содержания органических веществ, карбонатов, гранулометрического состава, pH (1:2,5), ёмкости катионного обмена, количества аморфного и окристаллизованного железа, магнитной восприимчивости, цвета, потерь при прокаливании, гипса и гигроскопической влажности. Дополнительно применялся микроморфологический метод для детального изучения процессов почвообразования исследуемых палеопочв. Определение возраста палеопочв осуществлялось методом оптически стимулируемой люминесценции (ОСЛ), проведенным сотрудниками «Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»).

В разрезе Ожерелье-2020, расположенном в Московской области, впервые были проанализированы образцы ОСЛ методом по полевым шпатам. Полученные результаты подтверждают принадлежность почвенного профиля каменского межледниковья именно к стадии МИС 7. Профиль почвы здесь представлен следующим образом: АВ-ЕВ-Bt.

Датировки горизонта ЕВ по двум протоколам дали значения 219 ± 22 и 244 ± 37 тыс. лет соответственно. Для горизонта Bt показатели составили 196 ± 44 и 283 ± 31 тыс. лет. В разрезах Павловское и Лихвина-2018 раннекаменная палеопочва эродирована и представлена профилями Bt1-Bt2-BC и Bt-BC соответственно. В Воронежском регионе разрез Стрелица-2017 демонстрирует другой тип строения профиля той же палеопочвы: АВ-Bt-BCt1-BCt2. Здесь также зафиксированы возрастные данные методами ОСЛ - $202,22 \pm 8,16$ и $195,47 \pm 7,75$ тыс. лет назад, подтверждающие стадию МИС 7.

Для всех перечисленных регионов характерно сходство свойств раннекаменной межледниковой палеопочвы: бурый оттенок профиля, наличие многочисленных кутан иллювиирования и характерное элювиально-иллювиальное распределение илистой фракции. Исключением является лишь северный разрез Ожерелье-2020, где присутствует осветлённый горизонт ЕВ. По строению и свойствам раннекаменная палеопочва могли развиваться по типу современных светло-серых и серых лесных почв умеренной зоны. Южнее, в разрезе Семь Тополей Волгоградской области, обнаружены серия палеопочв МИС 7, объединённых в единый педокомплекс наподобие мезинского педокомплекса (МИС 5). Нижняя палеопочва в этом разрезе формировалась на донской морене и датируется возрастом порядка 99 ± 12 и 244 ± 27 тыс. лет. Её строение схоже с

современной лугово-каштановой почвой этого региона, имеющей бурый цвет и в микростроении видны глинистые кутаны. Вышележащие палеопочвы разреза Семь Тополей в МИС 7 формировались скорее всего по типу каштановых и светло-каштановых современных почв. Разрез Семь тополей содержит следы эрозионных процессов и наличия гипсовых кристаллов, указывая на возможные аналоги среди сегодняшних светло-каштановых, светло-каштановых засоленных и южных чернозёмов. На территории Ростовской области в разрезе Беглица-2017 раннекаменная палеопочва подверглась сильной эрозии, рассечена сетью трещин усыхания и содержит кристаллы гипса. Согласно нашим исследованиям, почвы каменского межледникового были аналогичны современным светло-каштановым, светло-каштановым солонцеватым либо южным чернозёмам.

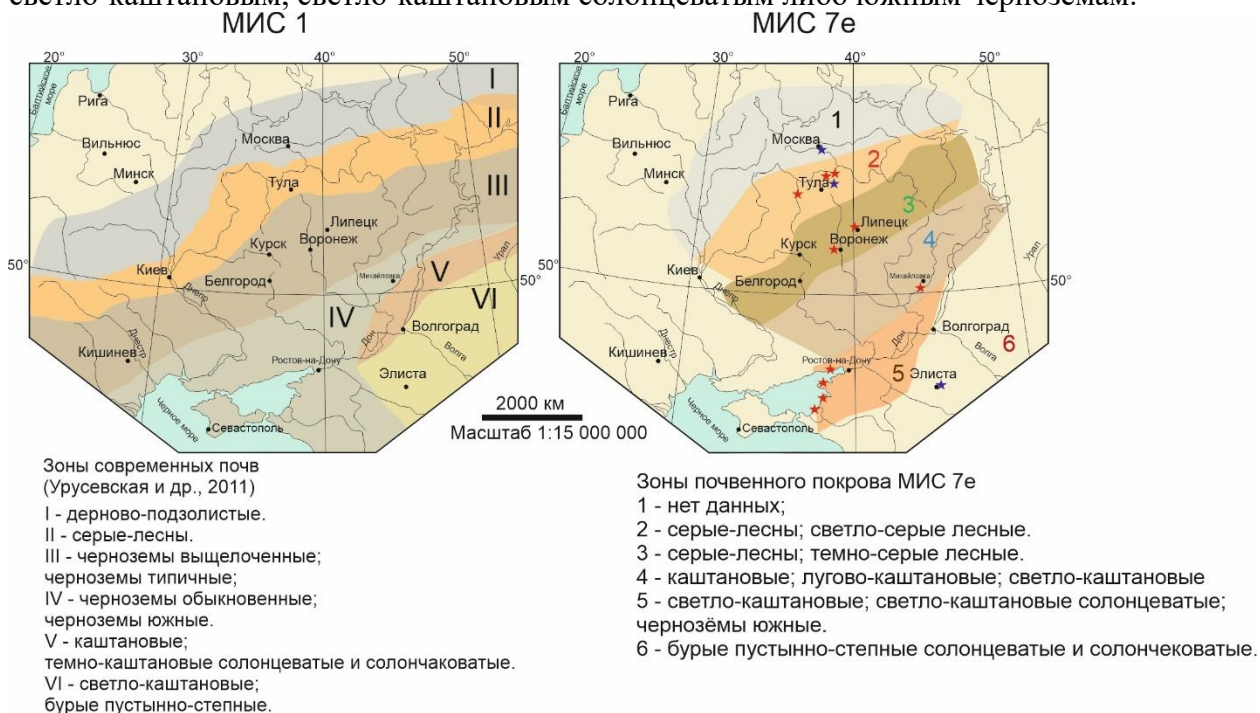


Рисунок. Реконструкция почвенного покрова в каменское межледниковье, в сопоставлении с современными почвенными зонами. Звездочками обозначены разрезы, красные, где обнаружена раннекаменная палеопочва.

Итак, в каменское межледниковье распределение типов почв происходило согласно закономерностям широтной зональности, однако была нарушена привычная последовательность зон: среди выделенных территорий отсутствовала обширная область распространения чернозёмов. Если двигаться от северных районов центральной части Восточно-Европейской равнины, сначала была зона светло-серых лесных почв, далее шли серые лесные и тёмно-серые лесные, которые сразу сменялись зоной каштановых почв, минуя промежуточную чернозёмную полосу, характерную для современного состояния почвенного покрова (рисунок).

УДК 630*114.68*221.2(470.13-924.82)

ДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ВЫРУБКАХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Перминова Е.М., Лаптева Е.М., Ковалева В.А., Виноградова Ю.А.

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, perminova@ib.komisc.ru

В таежной зоне мощным антропогенным фактором, приводящим к глубокой трансформации всех компонентов экосистем, является промышленная заготовка древесины. Результатом многолетней беспощадной эксплуатации лесов стала масштабная смена растительного покрова, влекущая за собой изменения в накоплении, преобразовании и разложении органического вещества, поступающего на поверхность

почв. Причиной тому служит тесная связь растительности с функционированием почвенных микроорганизмов, которая в значительной степени определяется качеством и количеством образующегося в наземных экосистемах органического материала и ежегодного включающихся в биологический круговорот растительных остатков. Ранее было установлено, что в результате проведения промышленных рубок происходит снижение показателей микробной биомассы и обеднение таксономического разнообразия микроорганизмов в почвах таежных экосистем, что не может не сказаться на динамике преобразования в них почвенного органического вещества.

Цель настоящего исследования заключается в выявлении особенностей функционирования сообществ микроорганизмов в почвах лесных фитоценозов, сформировавшихся после проведения рубок главного пользования и роли почвенного микробного ценоза в процессах стабилизации почвенного органического вещества. В качестве объектов исследования в подзоне средней тайги Республики Коми были выделены лесные участки, подвергшиеся в разные годы сплошнолесосечным рубкам. До проведения рубки фитоценозы всех участков были представлены ельниками мелкотравно-чернично-зеленомошными, располагающимися в хорошо дренированных ландшафтах южной части Тиманского кряжа. На момент исследований сукцессионный ряд был представлен следующими растительными сообществами – коренной ельник мелкотравно-чернично-зеленомошный (КЕ) и 1-2, 18-19 и 49-летние производные сообщества, сформировавшиеся после проведения рубок в 2017-2018 (ПП-0), 2001-2002 (ПП-2) и 1969-1970 (ПП-3) гг. соответственно. Преобладающий тип почв – подзолистые с микропрофилем подзола, развитые на крупнопылеватых покровных суглинках. Отбор подстильно-почвенных образцов проводили в течение вегетационного сезона 2018 г. с разделением подстилки на подгоризонты О1, О2, О3 и в июле 2020 года, при этом на участках проведения рубок учитывали элементы лесосеки (пасечный участок, пасечный волок, магистральный волок).

На базе ЦКП «Хроматография» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН определяли содержание общего углерода (Собщ) и общего азота (Nобщ) методом газовой хроматографии на CHNS-O анализаторе, а также содержание углерода (Свов) и азота (Nвов) водорастворимых соединений – методом высокотемпературного каталитического окисления с бездисперсионной ИК-регистрацией на анализаторе общего углерода ТОС VCPH. Для оценки микробиологической активности почв определяли углерод микробной биомассы (Смик) методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) и численность эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭТГМ) – методом посева на селективные питательные агаризованные среды. Аммонификаторы, нитрификаторы, олигонитрофилы и олиготрофы учитывали соответственно на мясо-пептонном (МПА), крахмало-аммиачном (КАА) агарах, среде Эшби и голодном агаре (ГА), микроскопические грибы – на среде Чапека. Таксономическую принадлежность микромицетов идентифицировали с использованием определителей.

Статистическую обработку результатов проводили в программах STATISTICA 8.0 и Microsoft Excel, для выявления достоверности различий между показателями использовали непараметрический метод Фридмана для зависимых выборок. Как показали проведенные исследования, подстильно-торфяные горизонты почв на рассмотренных участках различаются по своим качественным и количественным характеристикам, что обусловлено изменением экологических и микроклиматических условий на вырубках. В частности, уплотнение верхних горизонтов почв в результате прохождения тяжелой заготовительной техники на участках рубок, а также снижение эвапотранспирации в послерубочных экосистемах обусловили временное переувлажнение почв и соответственно возрастание влажности органогенных горизонтов. Для сравнения, на участке КЕ полевая влажность подстильно-торфяных горизонтов в среднем составляет порядка 130-140 %, на участках ПП-0, ПП-2 и ПП-3 – 160-170, 230-240 и 170-180 % соответственно. Увеличение влажности и высокая степень инсоляции после

сведения древесного яруса способствует последовательному замещению на этих участках зеленых мхов на политриховые и сфагновые мхи. Результатом сукцессионной смены флористического состава напочвенного покрова является увеличение мощности подстилки до 30 % на ранних стадиях и последовательное изменение ее морфологического строения на поздних стадиях. На участке ПП-3 спустя 50 лет после проведения рубки формируется совершенно иной тип подстильно-торфяного горизонта, резко отличающийся от такового на участках КЕ и более ранних сукцессионных стадий – ПП-0 и ПП-2. Подстилка участка ПП-3 в основном сложена листовыми пластинками мелколиственных пород деревьев, имеет меньшую мощность (снижена по сравнению с КЕ в 1.8 раза), в отличие от остальных участков ее нижняя часть в результате активной деятельности почвенных беспозвоночных животных перемешана с верхней частью элювиальных горизонтов. В последних послерубочная трансформация почв прослеживается не только в увеличении влажности на первых стадиях сукцессии (с 40-50 % в почве КЕ до 60-65% в почве ПП-0) и развитии глеевых процессов, но и возрастании потечности гумуса.

Установлено, что в первые годы после сведения древесного яруса в органогенных и элювиальных горизонтах происходит увеличение содержания и запасов $C_{общ}$ в 1.4-2.2 раза. Спустя 20 лет после проведения рубки содержание и запасы углерода в органогенном горизонте почвы восстанавливаются до уровня коренного ельника, в элювиальном горизонте – варьируют в зависимости от элемента лесосеки (наблюдается как снижение, так и возрастание по сравнению с аналогичным горизонтом почвы участка КЕ). На участке ПП-3 органогенные горизонты почвы характеризуются снижением как общего содержания углерода, так и его запасов, для элювиального горизонта отмечено их возрастание в 1.4-1.7 раза по сравнению с КЕ. На долю $C_{вов}$ в общем пуле органических веществ подстильно-торфяного горизонта почвы участка КЕ приходится 1.9 %. В производных фитоценозах она снижается до 1.3 % на участке ПП-0 с последующим возрастанием на участках ПП-2 и ПП-3 до 2.1 % и 2.3 % соответственно. В элювиальных горизонтах на всех этапах послерубочной сукцессии отмечено снижение доли $C_{вос}$ в 1.6-2.5 раза.

Содержание $N_{общ}$ в подстильно-торфяных горизонтах почв производных фитоценозов снижается от 1.80 % на участке КЕ до 1.40, 1.37 и 1.69 % на участках ПП-0, ПП-2 и ПП-3 соответственно. В элювиальных горизонтах сукцессионная динамика $N_{общ}$ аналогична динамике $C_{общ}$. Содержание $N_{вов}$ в органогенных горизонтах почв рассматриваемых фитоценозов невелико: в среднем для участка КЕ составляет 0.570 мг/г, ПП-0 – 0.354 мг/г, ПП-2 – 0.408 мг/г, ПП-3 – 0.695 мг/г. Максимальное содержание $N_{вов}$ в элювиальных горизонтах зафиксировано в почве коренного ельника (0.035 мг/г).

Оценка численности ЭТГМ показала их закономерное снижение в минеральных горизонтах, по сравнению с органогенными. При этом для почвы участка КЕ отмечена максимальная численность аммонификаторов (в среднем 1900 млн КОЕ/г а.с.п.) и олигонитрофилов (870 млн КОЕ/г а.с.п.), на участке ПП-3 – нитрификаторов (500 млн КОЕ/г а.с.п.) и олиготрофов (580 млн КОЕ/г а.с.п.). В элювиальных горизонтах почв всех участков увеличивается доля олиготрофной группы микроорганизмов.

Микромицетный комплекс, функционирующий в почвах вырубок, значительно уступает по видовому разнообразию почве коренного ельника. За период наблюдений в коренном ельнике было идентифицировано 84 вида почвенных микромицетов, на участках ПП-0, ПП-2 и ПП-3 – 29, 49 и 59 видов соответственно. На фоне снижения видового разнообразия в первые годы после сведения древесного яруса происходит увеличение доли темноокрашенных форм микромицетов за счет представителей рода *Cladosporium* и темноокрашенных форм стерильного мицелия, максимальное обилие которых отмечено на участке ПП-0.

Численность микромицетов в подстильно-торфяном горизонте почвы КЕ в среднем составляет 105 тыс. КОЕ/г а.с.п., на участках ПП-0 и ПП-2 она снижается до 59 и 82 тыс. КОЕ/г а.с.п., с последующим возрастанием в почве участка ПП-3 до 150 тыс. КОЕ/г а.с.п. Элювиальные горизонты почв на всех рассмотренных участках обеднены микромицетами и составляют в ряду КЕ→ПП-0→ПП-2→ПП-3 соответственно 22, 13, 36, 33 тыс. КОЕ/г а.с.п.

Минимальными значениями углерода микробной биомассы характеризуются органогенные горизонты почв на участках ПП-0 и ПП-2 (в среднем 2129 и 5058 мкг С/г), на участках КЕ и ПП-3 эти значения выше – 7030 и 8523 мкг С/г. В минеральной части профиля $S_{мик}$ на порядок снижается и в среднем составляет 268 (КЕ), 439 (ПП-0), 482 (ПП-2) и 645 (ПП-3) мкг С/г почвы.

Статистическая обработка полученного массива данных выявила наиболее значимую положительную корреляцию между $S_{мик}$ и содержанием $S_{вов}$ ($r=0.782$, $p<0.05$), $N_{вов}$ ($r=0.599$, $p<0.05$), $N_{общ}$ ($r=0.690$, $p<0.05$) в подстилке почвы коренного ельника, для участков ПП-0, ПП-2 и ПП-3 данные зависимости слабее и составляют соответственно $r=0.418$, $r=0.539$, $r=0.658$ ($S_{вов}$), $r=0.724$, $r=0.557$, $r=0.539$ ($N_{вов}$). В минеральной части профиля корреляционные зависимости между содержанием рассмотренными почвенными показателями и $S_{мик}$ не выражены. Использование для статистического анализа непараметрического метода Фридмана подтвердило наличие значимых различий в свойствах и микробиологических показателях между подстильно-торфяными ($\chi^2=106.3$, $p<0.05$), а также элювиальными ($\chi^2=90.8$, $p<0.05$) горизонтами почв рассматриваемых участков.

Таким образом, изменение экологических условий на вырубках приводит к снижению как численности ЭТГМ и видового разнообразия микромицетов, так и функциональной активности микробных сообществ в целом. В почвах вырубок функционирование микроорганизмов в органогенных горизонтах определяется, в первую очередь, изменением качественных и количественных характеристик почвенного органического вещества. При этом наиболее тесная положительная связь динамики углерода микробной биомассы установлена с такими показателями, как содержание в составе почвенного органического вещества общего азота и водорастворимых форм углерода и азота, отрицательная – с показателем C/N , характеризующем качество трансформируемого растительного субстрата.

В элювиальных горизонтах почв параметры микробных сообществ, характеризующие их биологическую активность, не зависят от качественных и количественных характеристик почвенного органического вещества и определяются, по всей видимости, другими факторами среды (кислотностью, содержанием токсичных форм алюминия, уровнем увлажнения, степенью аэрированности и проявления глеевых процессов).

УДК 631.4

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА В ТЕХНОЗЕМАХ СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА НОВОКУЗНЕЦКА

Подурец О.И.

КГПИ КемГУ, Новокузнецк, e-mail: Glebova-Podurets@mail.ru

В процессе развития и строительства промышленных предприятий, объектов жилищно-бытовой инфраструктуры, садово-парковых комплексов в селитебной территории города Новокузнецка сформировались сложные сочетания различных трансформированных, антропогенно-преобразованных территорий и сохранившихся природных ландшафтов. Объектом исследования являются молодые почвы, возраст которых составляет 65-70 лет, формирующиеся на техногенно-преобразованном ландшафте в пределах рекреационной части селитебной зоны города. В ходе строительства в 1953-1955 гг. с исследуемой территории, ранее представленной черноземом выщелоченным, был снят почвенно-плодородный слой и материнские почвообразующие породы объемом 7 млн м³ и

мощностью до 8-10 м. Плодородная часть почвы использовалась для озеленения, а лессовидные суглинки были перенесены для отсыпки низкой поймы в левобережную часть города. Снятие проведено в ряде участков до плотных осадочных пород, представленных алевролитами и аргиллитами, но в ряде участков сохранился суглинистый слой мощностью до 1 м.

Котлован расположен на средней части склона южной экспозиции Станцовых гор (район Кузнецкой крепостной горы) и представляет вытянутое с востока на запад образование, длиной до 1 км и шириной от 500 до 800 м. Борта котлована различной высоты – южный 3-5 м, северный 5-12 м, восточный и западный выравненные. Наличие круто- и среднесклоновых бортов котлована способствует поступлению на периферийную часть органических или минеральных веществ за счет процессов дефляции и эрозии, что способствует постоянному обновлению и переслоению поступающего материала. В целом рельеф котлована выравненный, но с наличием микрорельефа бугристого и западинного характера.

Развитие почвообразовательных процессов происходило в условия естественной среды, важным элементом которой являются следующие климатические параметры: средняя температура января от -17°C до -20°C , июля от $+17^{\circ}\text{C}$ до $+22^{\circ}\text{C}$; зима продолжительная, лето короткое и теплое; количество осадков 300-500 мм в год.

На «скальпированной» территории под влиянием действия естественных факторов среды и развития почвообразовательных процессов сформировались новые почвенные образования - техноземы. Почвы характеризуются набором специфических морфологических и физико-химических свойств, для оценки которых использовались инструментальные и методы почвенно-морфологического профилирования. В самовосстанавливающихся экосистемах развитие почв и растительных сообществ идет сингенетично. Особенности развития сингенеза почвенных и биологических процессов охарактеризовано на основании изучения динамики растительного вещества методом пробных площадок. Надземное растительное вещество (зеленая фитомасса, ветошь, подстилка) рассчитывалось по укосам с 1 м^2 , для определения подземного вещества из почвенных монолитов отмывались корни.

Все техноземы относятся к типу дифференцированных техноземов, но характеризуются рядом признаков, которые будут определять их подтиповой уровень. За основу взяты следующие параметры: особенности почвенного профиля, породного субстрата и тип растительной группировки, так же учитывалось наличие дополнительного фактора - поступление органического и минерального материала с бортов котлована. Другие почвообразующие факторы – рельеф и климат, характеризуются схожестью.

Выявлены следующие подтипы техноземов: 1) с простым неполноразвитым профилем, формируемые под древесно-кустарниковыми растительными группировками с разреженным травянистым покровом и близким залеганием плотных осадочных пород (Т1); 2) с простым неполноразвитым профилем, формируемые под древесно-кустарниковыми растительными группировками с развитым травянистым покровом на остаточном слое суглинка, мощностью 50-100 см (Т2); 3) с простым примитивным профилем, развивающиеся под пологом бурьянистых злаково-разнотравных группировок с остаточным слоем суглинка мощностью 50-100 см (Т3); 4) со сложным неполноразвитым профилем, характеризующиеся переслоением горизонтов и наличием суглинка различной мощности (Т4).

В силу малой профильной дифференциации развитие почвообразовательных процессов в техноземах возможно лишь оценить по особенностям формирования профиля, находящегося в зависимости от поступающей органики. Техноземы формируется преимущественно под древесно-кустарниковыми растительными группировками с разреженным травянистым покровом и злаково-разнотравными с 60-100% сомкнутостью растительного покрова, что определило различие в запасах растительного вещества (табл).
Таблица - Запасы растительного вещества дифференцированных техноземов (в г/м^2)

Компоненты растительного вещества	Подтип технозема			
	T1	T2	T3	T4
	Древесно-кустарниковые растительные группировки		Злаково-разнотравные растительные группировки	
Фитомасса	108,7 ± 48,3	270,5 ± 153,3	508,8 ± 110,8	386,5 ± 92,5
Мортмасса	421,5 ± 247,5	716,6 ± 43,2	724,4 ± 85,7	413,4 ± 119,8
Наземное вещество	521,2	987,1	1233,2	799,9
Подземное вещество (в слое 0-20 см)	4441,9 ± 255,4	4489,5 ± 168,1	5712,9 ± 508,7	2093,2 ± 111,1
Общие запасы	4963,1	4476,6	6946,1	2892,9

У древесно-кустарниковых растительных группировок, не зависимо от литогенной основы, при некотором варьировании показателей, общий запас растительного вещества оказался почти равным. Самый высокий показатель всех рассматриваемых компонентов растительного вещества получен в растительных злаково-разнотравных группировках на выровненных участках с сохранившимся слоем суглинка.

Во всех фитоценозах подземное растительное вещество превышает массу наземного, но его вертикальное распределение отличается. Расчет подземного вещества по горизонтам техноземов выявил следующее: в злаково-разнотравных растительных группировках в горизонте А (0-10см) 5113,6 г/м², АВ(В) (10-20см) 2471,5 г/м², ВС(С) (20-30см) 214 г/м²; в древесно-кустарниковых растительных группировках А (0-10см) 4238,6 г/м², АВ(В) (10-20см) 2834,4 г/м², ВС(С) (20-30см) 601,4 г/м². Вертикальное распределение подземного растительного вещества в профиле техноземов характеризуется резким уменьшением его количества с переходом из органогенной в литогенную часть профиля, но с наибольшей глубиной распространения массы корней в древесно-кустарниковых растительных группировках.

В профиле техноземов выделяется четко диагностируемый органогенный горизонт в виде подстилки, которая сформирована преимущественно из травянистого, но местами, довольно обильного листового опада, различной мощности (1-8 см) с неравномерным ее распределением, а также нередким ее отсутствием на возвышенных буграх. В злаково-разнотравных группировках, сформированных по периферийной части котлована, несмотря на высокие показатели наземного вещества, общие запасы растительного вещества самые низкие, что объясняется регулярным перекрытием подстилки и фитомассы материалом, поступающего с бортов котлована, особенно в период снеготаяния и ливневых осадков.

На трансформированных ландшафтах в условиях естественных среды развиваются почвообразовательные процессы, которые приводят к постепенному преобразованию изначального грунта и формированию специфических почвенных структур, которые характеризуются малопрофильностью, имеют стабильное накопление растительного вещества и развитие процессов гумусообразования, которое наиболее динамично развивается в растительных группировках сформированных на карбонатных суглинках.

УДК 631.46

ГОРОДСКИЕ ПОЧВЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ И ИХ МЕСТО В СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ПЕДОГЕНЕЗА

Т.В. Прокофьева¹, М.И. Герасимова²

¹Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail:

tatianaprokofieva@yandex.ru;

²Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail:

maria.i.gerasimova@gmail.com

Более 30 лет на кафедре географии почв изучаются городские почвы и совершенствуются представления о городском почвообразовании. Это научное направление было основано профессором Мариной Николаевной Строгановой и горячо поддержано академиком Глебом Всеволодовичем Добровольским.

Концепция экологических функций почв сыграла большую роль в становлении представлений о городских почвах, как почвах, и их разнообразии. Впервые почвы города были рассмотрены как неотъемлемая часть городской экосистемы, выполняющая в ней целый ряд функций. В Законе г. Москвы «О городских почвах» 2007 г Почвами названы твердофазные поверхностные тела (верхняя толща рыхлых отложений мощностью в 1 м от дневной поверхности) на территории города. «Экологические функции городских почв – их способность обеспечивать произрастание травянистой и древесно-кустарниковой растительности, жизнедеятельность почвенных организмов, поглощать загрязняющие вещества и предотвращать их проникновение в сопредельные природные среды, поддерживать биоразнообразие на территории города Москвы и др.» (ч.7 ст.1).

Теория функций почв в биосфере и экосистемах стала фундаментом для понимания значения почв в поддержании здоровой окружающей среды города и включения почвы в законодательную базу города Москвы, что привело к признанию почв города полноправным объектом почвоведения.

В книге «Почва. Город. Экология» (1997), вышедшей под редакцией Г.В. Добровольского, впервые была разработана подробная классификация городских почв, дано название главной почве городской экосистемы – «урбанозём» и обосновано ее выделение комплексом свойств и особенностей почвообразования.

Как часто бывает при уходе термина в массовое употребление, рассмотрение всех почв города без разбора, как абстрактных урбанозёмов породило немало недоразумений и сомнений в «почвенной сущности» городских почв.

Что же представляют собой городские почвы?

Интенсивная деятельность человека в крупных городах обуславливает существенное изменение окружающей природной среды – образование специфических городских экосистем и почв. Наиболее значимым для почвенного покрова воздействием на территории городов является увеличение грунтового массопереноса и накопление твёрдых отходов бытовой и хозяйственной деятельности, что ведёт к изменению геологической среды, трансформации рельефа, накоплению городских техногенных отложений – культурного слоя. Естественная растительность сменяется созданными человеком фитоценозами с большим количеством интродуцированных и адвентивных видов, изменяются состав и структура зооценозов. Экосистемы фрагментируются в результате внедрения в них и вытеснения их техногенными объектами и запечатывания поверхности дорожными покрытиями. Формируется специфический более тёплый и влажный городской микроклимат. Землепользование в условиях города оказывает влияние на все факторы почвообразования, в том числе и на фактор времени.

Среднее время существования городского квартала без глобальных реконструкций составляет примерно 50 лет. Время службы дорожного покрытия – 10 лет.

Постоянная необходимость соответствовать новым технологическим и инфраструктурным требованиям приводит к регулярным нарушениям почвенного покрова города и существенно сокращает городские циклы почвообразования по сравнению с природными.

Рассмотрим современное определение почвы, которое дает нам «Классификация и диагностика почв России» (2004). Согласно этому определению: почва — это «экспонированное на поверхности суши природное или естественно-антропогенное

твёрдофазное тело, сформированное многолетним взаимодействием процессов, приводящих к дифференциации исходного минерального или органического материала на горизонты». Не сложно отметить, что в условия активного землепользования классическая полнопрофильная почва вряд ли успевает сформироваться. Поэтому почвы на техногенных грунтах с короткими сроками почвообразования и неглубокой эволюцией отечественными классификациями, как почвы не рассматриваются. Так, в «Классификации почв СССР» (1977) это «почво-грунты», а в «Классификации и диагностике почв России» (КиДПР, 2004) – «техногенные поверхностные образования». С одной стороны, площади техногенных образований увеличиваются, на них происходит первичное почвообразование, которое интенсивно изучается почвоведом, и в КиДПР появился ствол первичного почвообразования, куда можно внести такие объекты. С другой стороны, отечественная законодательная практика требует разграничения объектов (почва или грунт), которые подвергаются загрязнению. Остается открытым вопрос: следует ли относить к почвам объекты с начальными признаками почвообразования?

Уже в первой половине XX в. стали появляться отдельные исследования почв городов. Одним из наиболее цитируемых в научной литературе является упоминание термина «городские почвы» (как особая группа почв) принадлежащее Дж. Бокхейму (1974), который определил этот феномен не как почву, а как почвенный материал, содержащий антропогенный слой несельскохозяйственного происхождения толщиной более 50 см, образованный путём перемешивания, заполнения или загрязнения поверхности земли в городских и пригородных территориях.

В трудах М.Н. Строгановой с соавторами впервые городские почвы рассмотрены как специфические почвы городской экосистемы.

На самом деле, почвенный покров города включает в себя разнообразные природные тела, которые имеют различный генезис, и любые почвы на территории города могут быть названы городскими по территориально-географическому принципу.

Поскольку городами заняты территории с уже сформировавшимся почвенным покровом, то в городе, есть природные почвы, в разной степени изменённые человеком. Разнообразие этих почв отражает разнообразие природного фона рассматриваемой территории. Добавление к природным горизонтам антропогенных почвенных горизонтов небольшой мощности и техногенных слоёв разного характера в результате неинтенсивной или непродолжительной хозяйственной деятельности многократно увеличивает почвенное разнообразие. Это особенно заметно на территориях городских исторических садов, природно-исторических и природных парков, лесов.

Большую долю почвенного покрова городов составляют антропогенные почвы.

Конкретное соотношение природных, слабо-, среднеизменённых и антропогенных почв в почвенном покрове города зависит от его возраста, величины, интенсивности современного строительства и другой антропогенной активности. На селитебных и промышленных территориях мощность техногенных отложений велика. На участках, где почвы были полностью разрушены и заменены техногенными отложениями, могут формироваться молодые почвы постлитогенного тренда почвообразования при длительных периодах слабого поступления нового материала на поверхность.

Большое распространение в городах получила практика рекультивации почв при искусственном создании экосистем (городские и спортивные газоны, цветники, сады и др.), результатом которой являются рекультивированные почвоподобные тела в почвенном покрове города.

Однако истинным отражением почвенных процессов в городской среде является синлитогенное почвообразование на культурном слое.

Городские почвы, специфические почвы городской экосистемы (антропогенно-спровоцированного или антропогенно-изменённого биома), которые образовались в данных условиях среды и полностью им соответствуют. Формируются одновременно с накоплением городского культурного слоя и являются его частью. Такие почвы называются урбостратозёмы, и могут быть введены в классификацию почв России в отдел стратозёмов (Прокофьева и др., 2014).

Так почвы или не почвы те феномены, которые принято называть городскими антропогенными почвами? Можно ли говорить о сплошном залегании разнородного почвенного материала на поверхности вне зависимости от наличия признаков почвообразования или следует продолжать настаивать на наличии почв повсеместно в городской среде. Противоречие разрешается, если рассмотреть городские поверхностные тела с позиций теоретических положений, выдвинутых Виктором Оганесовичем Таргульяном (2019 и ранее). Он рассматривает почву и как «почвенное тело», и как непрерывно функционирующую «почвенную систему». Почвенное тело — твердофазный компонент почвенной системы, состоит из последовательности генетических горизонтов и сформировано *in situ* в результате длительного функционирования почвенной системы.

Почвенная система — любая открытая биокосная полифазная функционирующая система. Она формируется при взаимодействии любого твердофазного субстрата (*in situ*) с атмосферой и биотой. Почвенная система функционально аналогична почве: обладает плодородием, но не имеет сформированного *in situ* почвенного профиля, состоящего из горизонтов (почва только с точки зрения функций).

В условиях ускоренных темпов первых этапов эволюции почвенная система формирует почву в новой породе или в почвоподобном теле, которое является своеобразной почвообразующей породой. Почвоподобное тело — похожее на почву поверхностное образование, имеющее техногенную природу или сформировавшееся в условиях неполного спектра факторов почвообразования. Осуществляет функции (или некоторые функции) почв в экосистемах, но не является почвой в полном «докучаевском» смысле этого понятия, т. к. не имеет генетически сформировавшихся горизонтов, или слои в ней не являются продуктом почвообразования. Некоторые авторы считают почвоподобным телом также различные варианты первичного и экстремального почвообразования. Горячкин с соавторами (2019, 2022) определяет городские поверхностные образования, как «антропогенно-экстремальные» (почвы, сильно изменённые или сформированные в связи с деятельностью человека).

Граница между почвой и почвоподобными телами довольно размыта. Любые почвоподобные тела функционируют в основном по «почвенным» законам и становятся почвами (в классическом понимании), если для этого соблюдается условие непосредственного воздействия на них совокупности факторов-почвообразователей, в том числе и автотрофных организмов, достаточно продолжительный период времени (рисунок).

Принято считать, что почва — уникальный природный объект, долго восстанавливающийся при разрушении и потому нуждающийся в охране. Этот критерий можно также применить для характеристики городских объектов почвенного покрова.

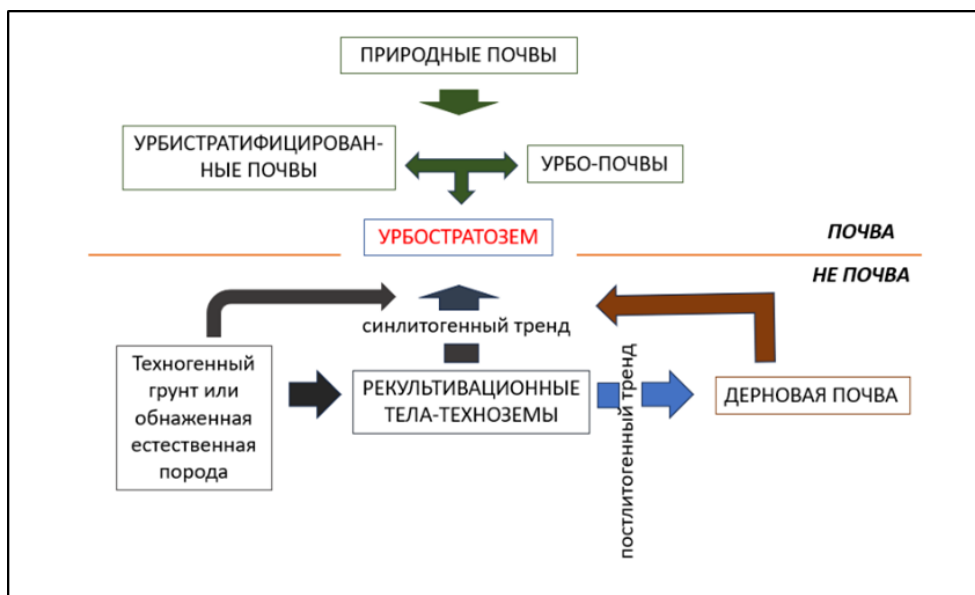


Рисунок. Почвенные и не почвенные объекты городского почвенного покрова и тренды их эволюции

Основные группы почв и почвоподобных тел:

1. Природные почвы ООПТ. Это естественно-исторические почвы, не измененные или слабо измененные, в последнем случае могут быть названы урбистратифицированными;
2. Урбо-почвы – природные почвы с антропогенными горизонтами небольшой мощности <40-50 см. Их можно рассматривать, как полуприродные почвы постлитогенного почвообразования средней степени изменения;
3. Почвы, соответствующие городской экосистеме. Синлитогенные почвы, растущие вверх за счет накопления городского седимента и составляют мощность > 40 см – урбостратозёмы. Как и другие синлитогенные почвы, они занимают пограничное положение между почвами и не-почвами. Они обладают генетическим почвенным гумусово-аккумулятивным горизонтом «урбик», диагностирующим почвы городской экосистемы. Почвы с непрерывным формированием почвенных горизонтов в течение нескольких столетий являются уникальным природно-антропогенным объектом заслуживают охраны также, как природные почвы, т.к. их почвенное тело также можно считать сформированным;
4. Постлитогенные (почвообразование преобладает над седиментогенезом) молодые или слаборазвитые почвы на техногенных грунтах с диагностическими протогумусово- или органо-аккумулятивными горизонтами. Профиль находится на ранних стадиях формирования, т.е. почвенной системой почвенное тело пока не сформировано, и с точки зрения охраны от загрязнения их может быть целесообразно почвами не считать, т.к. техногенные почвообразующие породы часто содержат загрязнители изначально;
5. Рекультивированные почвоподобные тела (технозёмы), недавно сконструированные на местах строительных и земляных работ. Не-почвы, т.к. не сформировано почвенное тело;
6. Запечатанные под твердыми дорожными покрытиями тела также можно считать лишь потенциальной основой для почвообразования и приравнять к непочвенным образованиям.

Таким образом, границу между почвами и не-почвами в городской среде можно провести где-то среди объектов именуемых урбостратозёмы. Их гумусово-аккумулятивные горизонты вполне можно срезать, сохранять и рекультивировать при освоении территории под новую хозяйственную деятельность, как это делается с плодородными горизонтами естественных почв. Целесообразно было бы

контролировать и чрезмерное загрязнение этих почв с учетом того, что общие фоновые концентрации многих элементов и веществ-загрязнителей в городе повышены. Некоторые наиболее древние разности урбостратозёмов можно предлагать к заповедыванию, т.к. они являются уникальным продуктом экосистемы и содержат в себе ценный пул живых организмов, приспособленных к существованию в городской среде.

В XXI веке объектами почвоведения становятся не только нормальные почвы, но и природные и техногенные почвоподобные тела, которые занимают место почв в почвенном покрове. Почвы города можно представить себе в виде непрерывного эволюционного ряда поверхностных тел разной степени трансформированности и развитости профиля. Однако, по всей видимости, решение о том называть их почвами или нет должно приниматься не только с позиций педогенеза, но и с учетом особенностей национальной системы законов для того, чтобы охрана почв не входила в неразрешимое противоречие с развитием экономической деятельности.

УДК 631.174:001.891:001.63:001.9:631.95.091:09:045

ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ФАКУЛЬТЕТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ
МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА В ЖУРНАЛЕ «АГРОХИМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК» В XXI
В.

Прохоров И.С.¹, Прохорова И.И.¹, Пирумова Л.Н.², Царева М.В.^{1,3}

¹АНО «Редакция «Химия в сельском хозяйстве», Российская Федерация, Москва,
agrochem_herald@mail.ru

²ФГБНУ Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, Российская Федерация,
Москва, pln@cnsnb.ru

³УО Белорусская ГСХА, Республика Беларусь, Горки, tsarevamariya@mail.ru

Первый номер журнала «Удобрение и Урожай» увидел свет в июне 1929 г. Его выход был инициирован Дмитрием Николаевичем Прянишниковым при содействии Комитета по химизации народного хозяйства СССР при СНК СССР и Научного института по удобрениям НТУ ВСНХ СССР (сейчас – Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. профессора Я.В. Самойлова) (фото). В настоящее время правопреемником журнала выступает научно-практический журнал «Агрохимический вестник» (с 1997 г.), что подтверждено письмом НПО «Всесоюзная книжная палата» от 02.12.1992 № 0212, которое дает право редакции указывать на титульном листе издания формулировку «Основан в июне 1929 г.».



Академик ВАСХНИЛ Э.В. Брицке, профессор М.К. Малин,
академики ВАСХНИЛ Д.Н. Прянишников и С.И. Вольфович (1929 г.)

Ученые и специалисты факультета почвоведения Московского университета на протяжении XX в. активно публиковали результаты своих научных исследований в журнале «Химия в сельском хозяйстве» и «Химизация сельского хозяйства». Среди наиболее заметных авторов – представители кафедры агрохимии В.Г. Минеев, Н.С. Авдонин, Г.А. Соловьев.

За первую четверть XXI в. с переименованием кафедры и журнала публикационная активность приобрела новый статус. Появились публикации сотрудников и других кафедр, а также публикации о юбилеях факультета и его видных ученых.

Так в 2000 г. Карпова С.Ю., Соловьев Г.А. представили опыты с минеральными, органическими и органоминеральными удобрениями, систематически вносимыми в почву в течение 25 лет на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Минеральные удобрения: аммиачная селитра, двойной суперфосфат и 40% калийная соль. Внесение органического удобрения на известкованном фоне способствовало иммобилизации доступных форм ТМ. Усиление мобилизации в почве некоторых элементов-загрязнителей под влиянием минеральных удобрений приводило к их аккумуляции в растениях. Минеральные удобрения снижали концентрацию хрома в сене клевера, зерне овса и свинца в клубнях картофеля, что связано с уменьшением подвижности металлов в почве. Длительное внесение органических удобрений снижало поглощение никеля, свинца всеми культурами звена севооборота. Комплексное применение известкования в сочетании с минеральными и органическими удобрениями значительно уменьшало накопление элементов-загрязнителей растениями. Количество кадмия при совместном внесении органического удобрения и извести в культурах снизилось в 3-4 раза относительно варианта, где использовалось только минеральное удобрение. Концентрация свинца в зерне овса и картофеля сократилось в 2 раза. Длительное использование удобрений не привело к накоплению ТМ в клубнях картофеля и зерне овса, в количествах, превышающих КПД. Сделан вывод, что средства химизации, применяемые в агрономически целесообразных дозах, не являются потенциальными источниками загрязнения дерново-подзолистой почвы и растительной продукции ТМ даже при длительном сроке их внесения. Можно говорить только о тенденции повышения накопления отдельных ТМ в растениях в пределах ПДК.

Следует отметить, что журнал постоянно ищет новые решения для привлечения читателей, расширения аудитории. В журнале постоянно дается информация о состоявшихся совещаниях, конференциях, выставках (на 3-ей странице обложки), отдельных НИУ (на 2-й странице обложки) с нарезкой цветных фото. С 2001 г. журнал проводил конкурс «Агрохимик года» по работам, опубликованным в журнале «Агрохимический вестник за... год» с различными номинациями, результаты с именами победителей, конечно, публикуются в журнале, привлекая внимание читателей к особо интересным или дискуссионным работам. После распада Советского союза публикация многих исследований в бывших республиках началась в ряде региональных изданий, однако благодаря сотрудничеству редакции с рядом Вузов и НИИ позволяет и сейчас привлекать авторов из ближнего зарубежья. Значительное внимание уделяется редакцией истории развития науки и ее выдающимся деятелям и исследователям.

С 2005 г. журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) на сайте российской научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru). В настоящее время этот агрегатор выступает главным «мерилом» публикационной активности ученых и преподавателей.

В 2010 г. журнал стал Лауреатом Национальной премии им. П.А. Столыпина «Аграрная Элита России» в номинации «Пропаганда новых технологий и научных достижений в повышении плодородия и возрождении земель сельскохозяйственного назначения».

Не забывают в журнале и о будущих поколениях агрохимиков, почвоведов и агроэкологов, для которых существует рубрика «Работы молодых ученых».

С 2012 г. главным редактором журнала стал к.с.-х.н. И.С. Прохоров, выпускник кафедры биологии почв факультета почвоведения (2003), работающий в редакции со студенчества. С 2015 г. журнал включен в базу данных российских научных журналов Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Также подтверждено включение журнала с 1963 г. в международную базу данных химических научных журналов Chemical Abstracts (CAS (pt)), осуществлена регистрация в международной исследовательской базе данных Research Bible.

С 2018 г. статьям, публикуемым в журнале, присваивается Digital Object Identifier (DOI) на базе Российской государственной библиотеки (www.cyberleninka.ru).

В 2018 г. в связи с 45-летием создания факультета почвоведения все страницы обложки и половина журнала № 2 были посвящены научной и образовательной деятельности его сотрудников. Так, в статье И.С. Прохорова представлено краткое изложение вступительной статьи основателя и первого декана факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, академика Г.В. Добровольского (1915-2013) к справочнику, посвященному учебной и научной деятельности факультета. Показана история развития почвоведения, начиная с трудов М.В. Ломоносова и заканчивая работой современных ученых и преподавателей факультета не только в учебных лабораториях, но и в полевых условиях, которой всегда отличались почвоведы Докучаевской научной школы.

Благодаря обновлению Перечня ВАК РФ, в журнале «Агрохимический вестник» в настоящее время публикуются материалы по многим специальностям и отраслям науки: микробиология (сельскохозяйственные науки); экология (биологические и химические науки); почвоведение (биологические, сельскохозяйственные и химические науки); общее земледелие растениеводство (биологические и сельскохозяйственные науки); агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (биологические, сельскохозяйственные и химические науки). Одним из направлений публикаций благодаря этому стали исследования по оценке земель, а также в особо охраняемых природных территориях (заповедниках и национальных парках).

В разные годы в журнале были опубликованы исследования таких авторов как Карпова С.Ю., Соловьев Г.А., Егорова Е.В., Большеева Т.Н., Верховцева Н.В., Хомяков Д.М., Минеев В.Г., Первова Н.Е., Карпова Д.В., Воронина Л.П., Хуснетдинова Т.И., Балабко П.Н., Гончаров В.М., Зубкова Т.А., Макаров О.А., Добровольская Т.Г., Бондарев Ю.П., Пашкевич Е.Б., Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Якушев А.В. и многих других.

Редакции журнала остается надеяться, что активное сотрудничество с учеными факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова будет динамично и взаимовыгодно развиваться и пожелать коллективу преподавателей, ученых, в том числе молодых аспирантов и докторантов, успехов и крепкого здоровья!

УДК 631.46

ИНФОРМАЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ ПОЧВ УРБОЭКОСИСТЕМ БАССЕЙНА РЕКИ ВОЛГИ

Решетникова Р.А.¹, Ковалева Н.О.¹, Иванов А.В.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail rada3025@mail.ru

В рамках задачи палеорекострукции условий формирования почв в долине Волги для определения наиболее информативных почвенных свойств были исследованы несколько почвенных разрезов с культурными слоями в поселениях разных частей долины Волги - Верхнего, Среднего и Нижнего Поволжья. Целью работы было выявить инерционные почвенные свойства, обладающие наиболее полной информационной емкостью, на основе анализа пула морфологических, химических, физических свойств почв.

Разновозрастные объекты исследования расположены в разных частях Волжского бассейна: на Верхней Волге - Дмитровское городище (Московская область), в Среднем и Нижнем Поволжье (Правобережье) – почвы в окрестностях поселений Н. Банновка, Галка, Щербаковка (Саратовская область), археологический памятник Водянское городище (Волгоградская область).

Культурные слои и почвенные горизонты исследуемых урбоэкосистем сохраняют информацию о формировании почв и условиях природной среды, меняющихся в различные периоды и трансформирующих почвенные профили.

В качестве наиболее информационно-емких свойств были выбраны морфологические свойства почв, изотопный состав органического углерода почв (измерялся на масс-спектрометре Thermo-Finnigan Delta V Plus IRMS), гранулометрический состав почв (методом пипетки Качинского-Робинсона-Кехля, с обработкой почвенных образцов пирофосфатом натрия), валовой химический состав почв (методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии), минералогический состав крупной фракции (по сокращенной методике Горбунова), удельная магнитная восприимчивость (каппаметром КТ-5), групповой состав фосфора (аскорбиновым методом), содержание углерода, азота, серы и водорода (на элементном анализаторе VARIO EL, Elementar GbmH, Nanau), возраст почв (радиоуглеродным методом с калибровкой по калибровочной кривой IntCal20).

По морфологическим свойствам отличались погребенные горизонты почв и культурные слои с более темной окраской, наличием артефактов (кирпич, уголь, обломки керамики) и горизонты с зональными признаками, в которых отмечается светлая окраска, столбчатая структура, высокая плотность. Эти признаки стали первыми визуальными свидетельствами для выделения погребенных почв и антропогенных слоев в толще профилей зональных почв. Групповой состав фосфора тоже является индикатором антропогенной деятельности и инструментом выделения культурных слоев. Культурные слои обнаруживают накопление всех групп фосфора (общего, минерального, органического) по сравнению с природными аналогами. Повышенные величины содержания органического фосфора коррелируют с величинами содержания органического углерода, магнитной восприимчивости и изотопных отношений. Содержание биофильных элементов ожидаемо возрастало в погребенных темноцветных горизонтах, а также в культурных слоях.

Изотопный состав органического углерода и радиоуглеродный (либо относительный на основе археологических данных) возраст почв показали, что в период раннего голоцена изотопные отношения $\delta^{13}\text{C}$ были облегчены (более влажные условия), в период средневековья повысилась доля тяжелого изотопа C^{13} (увлажнение снизилось), еще более тяжелыми значения стали во время малого ледникового периода (усиление аридизации), и вновь облегчились к современности (влажные условия).

Гранулометрический состав почв и рассчитанные по содержанию гранулометрических фракций коэффициенты – коэффициент облессованности, сортированность и средние диаметры песчаных компонентов – стали индикаторами генезиса почв и степени их криогенного выветривания. Большинство исследованных почв относятся к слабооблессованным и мало подверженным криогенному выветриванию, с делювиальным и пролювиальным генезисом, свидетельствующим об активности водных потоков во время формирования профилей.

Значения магнитной восприимчивости и рассчитанные по ним палеоосадки (для почв сухостепной зоны) показали максимальные значения в погребенных горизонтах раннего голоцена, средневековых слоях, в солонцовых горизонтах и в поверхностных гумусовых горизонтах. Это свидетельствует о повышенной увлажненности в указанные периоды и в

современности, а максимумы в солонцовых горизонтах также являются результатом солонцового процесса: в них накапливается илистая фракция, к которой приурочены магнитные частицы.

Минералогический и валовой состав почв показывают неоднородность отложений, включающих аллювиальный, ледниковый, морской и переотложенный материал. Различные отложения фиксируют различные этапы и условия осадконакопления. По результатам валового состава рассчитаны геохимические индексы CIA-K, Rb/Sr, Ba/Sr, характеризующие интенсивность гидрологического выветривания и выщелачивания, которые зависят от увлажненности. Коэффициенты повышены в горизонтах времени раннего голоцена, в культурных слоях средневековья и культурных слоях времен немцев Поволжья, а также в солонцовых горизонтах.

Корреляция проанализированных свойств позволяет сделать вывод о формировании раннеголоценовых почв, вскрытых в Среднем и в Нижнем Поволжье, во влажных условиях с высокой интенсивностью выщелачивания и гидролитического выветривания. К бореальному периоду голоцена климат стал более сухим; горизонты и культурные слои средневекового возраста формировались в теплых и умеренно сухих условиях климатического оптимума; Малый ледниковый период начался усилением процессов аридизации климата, в том числе благодаря активизации антропогенной деятельности. К современности увлажненность климата в Поволжье нарастает. Что касается позднеголоценовых почв Верхнего Поволжья, в их свойствах средневековый климатический оптимум и Малый ледниковый период проявляются уменьшением увлажнения.

Из-за разнородности литологического фона нельзя опираться только на геохимические коэффициенты для индикации изменений климата. Несмотря на это, подобраны наиболее инерционные показатели, которые сохраняют информацию о климатических ритмах – изотопный состав органического углерода почв, удельная магнитная восприимчивость, гранулометрический состав.

УДК 631.433.3.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЭМИССИЯ CO₂ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АГРОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ СОЧИНСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

Рогожина Е.В.

Субтропический научный центр РАН, Сочи, e-mail: RogojinaEW@yandex.ru

Трансформация ландшафтов от естественных региональных к агрогенно-преобразованным приводит к изменению пулов и потоков углерода в почве, важным показателем которых является эмиссия CO₂. Эмиссия CO₂ почв суммирует отток углерода, образующегося в основном в результате жизнедеятельности микроорганизмов и корневого дыхания. Данный показатель является сегодня важным для диагностики экологического благополучия экосистемы и необходим для создания сбалансированных по углеродному обмену агроценозов. Сложность оценки вклада почв агроценозов в углеродный баланс и общий баланс парниковых газов обусловлена тем, что в результате использования агротехнических приёмов возделывания культур агроэкосистема является гетерогенной в течение периода вегетации. В связи с этим цель данной работы – изучение физико-химических свойств почв агроценозов Сочинского Причерноморья и эмиссии CO₂ и выявление факторов, влияющих на её интенсивность.

Исследование почв садовых агроценозов проводилось на территории Лазаревского (пос. Уч-Дере, 43°41'5" N 39°38'14" E, 120 - 135 м н.у.м) и Хостинского (43°34'3" N 39°45'10" E, 167-172 м н.у.м) районов города Сочи. Измерения эмиссии CO₂ агрогенно-измененных

почв (Anthrosols) проведены в феврале-апреле-июне-октябре 2024 года и в марте-июле 2025 года in situ методом закрытых камер с помощью портативного инфракрасного газоанализатора. Замеры эмиссии CO₂ и отбор почвенных образцов для определения физико-химических показателей осуществлялся под многолетними садовыми агроценозами персика (*Persica vulgaris* Mill.), мандарина (*Citrus reticulata* Blanco), чая (*Camellia sinensis* L.) Kuntze, фундука (*Corylus maxima* Mill.) и под естественными лесными фитоценозами на бурозёмах (Cambisols) в качестве фона, а также под фейхоа (*Acca sellowiana* (O.Berg) Burret.) на желтозёмах (Acrisols). Одновременно измеряли температуру и влажность приземного слоя воздуха. Исследуемые сельскохозяйственные почвы сформировались под воздействием агротехнических приёмов возделывания культур: внесение минеральных удобрений в поверхностный слой почвы (персик: для молодых насаждений – N100P50K70, для полновозрастных – N180P90K130; мандарины – N150P150K250; чай – N240P70K90; фундук – N180P120K120; фейхоа – N120P120K120); применение пестицидов (персик и мандарины – бордоская жидкость, скор, фундазол, делан, каратэ). Следует отметить, что насаждения фундука и фейхоа находились в постагрогенном режиме. Персик, мандарин, фейхоа возделывались при естественном задернении (лугово-злаковая ассоциация), для постагрогенного фундучника характерна лесная подстилка, а в условиях чайной плантации в междурядье шпалеры образовалась растительная подстилка из опада и обрезочного материала. Погодные условия в период исследования являлись типичными для Сочинского Причерноморья. Средняя годовая температура воздуха в 2024 г. соответствовала +16.1 °C при общем количестве осадков 1587 мм (<http://www.pogodaiklimat.ru/history/37099.htm>). Физико-химические показатели почв определялись общепринятыми методами: рН_{H2O} и рН_{KCl} (соотношение почва: раствор 1 : 2.5) – потенциометрически (ГОСТ 26423-85), гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), фосфор подвижный – по Ониани (для кислых почв) и Олсену (для нейтральных и слабощелочных почв) (прибор УСФ 01, Россия), калий обменный – по Ониани (для кислых почв) и Масловой (для нейтральных и слабощелочных почв) со спектрометрическим окончанием (прибор Квант-АФА, Россия), аммиачный азот – колориметрическим методом с реактивом Несслера, влажность – весовым методом. Оценка физико-химических свойств почв показала, что бурозёмы (фон) характеризовались тяжелым механическим составом (средние суглинки), в среднем имели слабокислую (бурые лесные слабоненасыщенные) или кислую (бурые лесные кислые) реакцию почвенного раствора (рН_{KCl} 6.03 и 4.37 ед. соответственно), являлись низкогумусированными (4.6 и 5.7 % соответственно), характеризовались средним содержанием аммиачного азота (45.7 и 73.4, мг/кг соответственно) и подвижного фосфора (68.6 и 62.0 мг/кг соответственно); имели высокую обеспеченность калием (106.9 и 425.6 мг/кг соответственно). В агрогенно-измененных бурозёмах как в слабоненасыщенных, так и в кислых отмечено повышение кислотности почвенного раствора рН_{KCl} относительно фона (под персиком, мандарином, чаем и фундуком в среднем на 1.3, 1.0, 1.0 и 0.6 ед. соответственно); увеличение концентрации подвижных фосфатов на порядок; снижение содержания гумуса в среднем на 1 %, за исключением почв под чаем, где агротехнические приемы возделывания культуры (удобрения и растительная подстилка из обрезочного материала) создают условия для увеличения запасов гумуса в среднем на 0.8 % по сравнению с фоном. Отмечено в целом снижение влажности на 13-15 % и повышение температуры на 1.0-1.5 °C почв под персиком и мандарином относительно фона, а также более высокая влажность (на 4-9 %) почв чайной плантации по сравнению с естественным ценозом. Желтозём под фейхоа имел кислую реакцию почвенного раствора (в среднем рН_{KCl} 5.16 ед.), низкое содержание гумуса (в среднем 3.6 %) и среднюю обеспеченность основными питательными элементами (подвижный фосфор – 65.5 мг/кг; обменный калий – 63.0 мг/кг; аммиачный азот – 52.4 мг/кг). За период исследования влажность почвы под фейхоа изменялась в диапазоне от 15 до 43 %, а температура – от +13 °C до +27 °C, что на 2-3 °C выше по сравнению с остальными агроценозами и связано с расположением сада на

высоте 50 м н.у.м на прибрежной террасе. Сезонные измерения эмиссии CO_2 почв естественных биогеоценозов позволили определить диапазоны варьирования показателя для бурых лесных слабонасыщенных – от 56.5 до 187.4 C-CO_2 мг/(м² ч); для бурых лесных кислых – от 51.0 до 152.2 C-CO_2 мг/(м² ч), что сопоставимо со значениями, определяемыми в почвах основных типов лесных экосистем Московской области в период активной вегетации. Максимальные значения показатель эмиссии CO_2 имел в июне, а минимальные – в феврале, что обусловлено, вероятно, влиянием температуры на биологическую активность почв и физиологической активностью корней растений. В среднем за период исследования интенсивность потока углекислого газа из почв персиковых садов на 12 % выше по сравнению с фоном, что связано в большей степени с задержанием почвенного покрова и стимулирующим влиянием применяемых доз удобрений. Эмиссия CO_2 почв под мандаринами ниже фоновых значений на 20 %, что связано с высокой пестицидной нагрузкой в весенний период (февраль-март), а под чаем и фундуком – на 21 % и 12 % соответственно, по причине влияния длительного применения удобрений и отсутствия травяного покрова. Для желтозёма под фейхоа показатель эмиссии CO_2 почв варьировал в сезонной динамике от 99.0 до 219.3 C-CO_2 мг/(м² ч), более высокая интенсивность эмиссии CO_2 почв по сравнению с почвами других фитоценозов обусловлена, вероятно, влиянием двух факторов – температуры и вклада корневого дыхания плотного травяного покрова злаково-луговой ассоциации. Отмечено, что в условиях изучаемых агроценозов показатель эмиссии CO_2 почв имел среднюю положительную корреляционную зависимость с температурой ($r = 0.5$) и слабую отрицательную степень связи с влажностью почв ($r = -0.3$), подвижным фосфором ($r = -0.3$), обменным калием ($r = -0.3$). Снижение содержания фосфора и калия в почвах на участках с высокой скоростью эмиссии CO_2 связано, возможно, с потреблением их быстрорастущими травами. Полученные результаты подтвердили представления о трансформации физико-химических свойств почв многолетних садовых агроценозов Сочинского Причерноморья под влиянием агрогенной нагрузки: изменение гидротермического режима почв, подкисление и повышенное содержание подвижных фосфатов в результате многолетнего внесения минеральных удобрений, снижение содержания гумуса (за исключением агроценоза чая). Важными факторами, влияющими на интенсивность эмиссии CO_2 почвами агроценозов, являлись: температура, влажность, обеспеченность питательными элементами, пестицидная нагрузка и наличие задержания почвенного покрова.

УДК 631.46

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗНООБРАЗИЯ МИКРОБИОМА СЕРЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СУКЦЕССИОННОЙ СМЕНЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ЗАРАСТАНИИ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ

Романова А.И., Маханцева В.А., Журавлева А.И., Лебедева Т.Н., Курганова И.Н., Иващенко К.В.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, e-mail: romanova.ast24@yandex.ru

В 90-х годах значительные площади пахотных земель России были выведены из сельскохозяйственного оборота в результате экономического кризиса. Данные Росстата указывают на сокращение посевных площадей на 36,5 млн га с 1990 года по 2023 год. В настоящее время эти залежные экосистемы находятся на различных стадиях постагрогенной сукцессии, зарастая луговой и/или древесной растительностью. В результате этого на бывших пахотных землях формируется растительный покров, различающийся по продуктивности, функциональному разнообразию и видовому богатству. Мы полагаем, что сукцессионные изменения растительности залежных

экосистем будут основным фактором, определяющим функциональное разнообразие микробиома почв.

Цель исследования – оценить влияние состава и богатства функциональных групп растений на содержание углерода в микробной биомассе, распределение катаболической активности и функционального разнообразия микробиома в почве разновозрастных залежей.

Исследования проводили на территории опытно-полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, расположенной в южном Подмоскowie (ОПС ИФХиБПП РАН, 54°49' с. ш.; 37°34' в. д.) в зоне распространения широколиственных лесов. Объекты исследования расположены на серых почвах и представляют собой пахотный участок (зерно-паровой севооборот) и разновозрастные залежи с различным растительным покровом: луговое-разнотравье (возраст 16 и 44 года), березовый лес (19 лет) и вторичный широколиственный лес (80-100 лет). Для каждого объекта были выполнены геоботанические описания и отобраны почвенные образцы из верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта (слои 0–5 и 5–10 см). В почвенных образцах определяли химические показатели (рН(KCl), содержание органического углерода, общего азота и микробиологические показатели: катаболическую активность микробиома – дыхательный отклик (скорость выделения CO₂) на органические мономеры: углеводы, карбоновые и аминокислоты и фенольные кислоты). На основе данных катаболической активности рассчитан индекс функционального разнообразия микробиома (индекс Шеннона).

Установлено, что с возрастом залежи значимо ($p < 0.05$) увеличивается содержание общего азота, содержание углерода микробной биомассы почвы в 1.8-3.8 раз и растет микробный дыхательный отклик на субстраты группы углеводов и аминокислот, в частности на глюкозу – в 2.8 раз, фруктозу – в 2.4 раза и аргинин – в 6.2 раз. Эта тенденция наиболее выражена в верхнем 0–5 см слое почвы. На глубине 5–10 см также сохраняется тренд к увеличению содержания общего азота и углерода микробной биомассы, однако существенных изменений дыхательного отклика на внесение органических мономеров не наблюдается. Регрессионный анализ выявил, что индекс функционального разнообразия микробиома почвы в 0–5 см слое определяется прежде всего видовым богатством растений ($R^2 = 0.72$) и не зависит от возраста залежи (статистически значимых различий не обнаружено). Следовательно, в ходе постагрогенной сукцессии движущим фактором увеличения содержания общего азота, углерода микробной биомассы и отклика на внесение субстратов группы углеводов и аминокислот является возраст залежи. В то же время функциональное разнообразие микроорганизмов в верхнем 0–5 см слое почв залежных экосистем определяется видовым богатством растений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 125061107005-4 – изучение микробных характеристик почвы и № 122040500037-6 – отбор почвенных проб и определение химических свойств почвы).

УДК 631.46:551.58

ПАЛЕОПОЧВЫ РАННЕГО КАРБОНА СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Рябинкина Н. Н.¹, Стукова Т. В.²

1- ИГ ФИЦ Коми УрО РАН, Сыктывкар, nnryabinkina@gmail.com;

2- Пермь, stukova_tatyana@mail.ru

В этой публикации авторами рассмотрены отложения раннего карбона северо-востока Европейской платформы на примере визейской терригенной толщи двух сопредельных нефтегазоносных территорий Тимано-Печорской и Волго-Уральской провинций (ТПП и ВУП), которые являются регионально не только нефтегазоносными, но и угленосными.

Обе территории хорошо стратиграфически обоснованы. Визейская терригенная толща этих старинных добывающих регионов охарактеризована геофизическими, литолого-фациальными, палинологическими и геохимическими методами. В исследованиях задействован керн глубоких скважин и обнажений ТПП и юго-восточной части Пермского Прикамья ВУП. Современные исследования в области изучения палеопочв показали, что большинство почв раннего карбона принадлежат к азональному и интразональному рядам.

Авторы данной публикации, имея более чем 40-летний опыт изучения толщи, конкретными вопросами палеопочвенных горизонтов на указанной территории занялись сравнительно недавно, т.к. работая в геологических организациях, в основном использовали все возможные методы изучения перерывов в осадконакоплении, учитывая стратиграфические и литологически выраженные данные по разрезам скважин и обнажений. Выявление палеопочвенных горизонтов в терригенных разрезах уточняет длительность перерывов и субэзральной проработки пород, качество и количество сохраненного в них органического вещества и тем самым качество нефтегазоматеринских свойств терригенной толщи. Продолжительность субэзральных перерывов определяет как формирование вторичных коллекторов в подстилающих отложениях, так и вторичные изменения в составе органического вещества пород, его окисление и потерю нефтегазогенерационного потенциала, что является очень важным критерием при оценке перспектив нефтегазоматеринского потенциала толщи.

Признаками существования палеопочв, на основании которых отложения могут быть отнесены к палеопочвам, являются: наличие наземных растительных остатков, следов корневых систем, следов деятельности микрофауны, спор, микроагрегатов органоминеральной природы, формирование аутигенных смектита и каолинита и ряд других факторов. Полный комплекс признаков встречается редко, но тем не менее их частичное наличие в древних отложениях может считаться критерием установления наличия палеопочвы или её существования и последующего разрушения.

В частности, доказательством развития палеопочвенных образований на исследуемой территории послужили находки остатков *Stigmaria ficoides*, *Lyginodendron*, *Knorria*, *Bergeria* и *Ulodendron* в образцах из отвалов шахт угольного месторождения Еджыд-Кырта, а также *Stigmaria* sp. в керне ряда скважин ТПП и Пермского Прикамья. Кроме того, представительный флористический комплекс (“вуктыльский”) был описан Ю.В. Мосейчик (2009) в автохтоне скв. Вуктыл-191 на глубине 3684- 3691 м. В составе комплекса определены *Sublepidodendron* sp., *Sphenopteridium* cf. *kidstonii* Nathorst, *Meyenia* cf. *pryptatii* Radziwill, *Cordaite* sp.

Помимо рассмотренных выше остатков во многих скважинах ТПП (Вуктыл-224, интервал 3586.6- 3588.7 м; Белая-1, 2995-3001 м и 2983-2987 м; Кылым-Ёль-1, 4749-4757 м; Козлаю-2, 3885.5- 3892.1 м), в терригенной толще на ряде уровней, которые по палинологическим данным относятся к интервалу от радаевского до тульского горизонтов визе, были обнаружены остатки ризофоров древесных плауновидных *Stigmaria ficoides* (Sternberg) Ad.Brongniart. Они представлены отпечатками и углефицированными фитолеймами фрагментов боковых ответвлений ризофоров и отдельных аппендиксов, сохранившимися in situ. Эти остатки маркируют горизонты болотных палеопочв, на которых произрастали древесные плауновидные. Подобные горизонты с беспорядочно ориентированными аппендиксами стигмариий широко развиты в континентальных отложениях карбона и, в частности, в подугольных пластах Донбасса, где известны под названием “кучерявчиков”. Находки зафиксированы на разных стратиграфических уровнях, датировка которых определена по данным палинологических исследований. Возрастная привязка

местонахождений находок в разрезах разных скважин диагностируется как радаевскими, так и бобриковскими, а также тульскими спорово-пыльцевыми комплексами во вмещающих, подстилающих или покрывающих отложениях.

Другим важным признаком установления слоев с палеопочвами в визейской терригенной толще являются текстуры, нарушенные многочисленными «корешками» (ризоидами), которые располагаются обычно перпендикулярно наслоению, иногда в несколько этажей. Нередко они обуглены или пиритизированы. Это важный диагностический признак, характеризующий уровни субаэрации. В большом количестве палеопочвенные горизонты установлены в разрезах скважин и обнажений на западном склоне Предуралья Краевого прогиба Северного Урала, оконтуривающего Европейскую платформу с северо-востока и на прилегающей к нему платформенной части (в ряде скважин Жуковской, Енапаевской и Забродовской разведочных площадей) Пермского Прикамья.

Таким образом, по имеющимся данным можно диагностировать возраст палеопочвенных горизонтов (данные палинологии), установить генезис палеопочв (литолого-фациальные исследования), а при густой сетке скважин создать реконструкцию миграции береговой линии (данные литолого-фациального и палинофациального методов), что играет важную роль при оценке потенциала территорий на открытие новых залежей углеводородов. В последние годы рядом авторов (Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Мосейчик Ю.В., Кабанов П.Б. и др.) уделяется достаточно много внимания разным аспектам изучения палеопочв.

Установлено, что в раннем карбоне преобладают палеопочвы гумидного ряда (болотные палеопочвы), часто связанные с развитием угольных бассейнов, т.е. с основными объектами накопления и сохранения органического вещества в терригенных толщах. Выявление палеопочвенных горизонтов в терригенных разрезах уточняет длительность субаэральной проработки пород, качество и количество сохраненного в них органического вещества и тем самым качество нефтегазоматеринских свойств терригенной толщи. Особое внимание в геологии горючих ископаемых всегда уделялось захороненному органическому веществу (ОВ) или его рассеянной фракции (РОВ) во вмещающих породах. Степень катагенеза ОВ традиционно определяется: прямым (оптическим методом) - отражательная способность витринита и косвенными геохимическими методами (пиролиз, ИК-спектроскопия). Кроме того, важно отметить еще один оптический метод - цветовой индекс миоспор, являющийся показателем катагенетической преобразованности рассеянного ОВ (РОВ), составляющей частью которого являются миоспоры. Авторами данного сообщения на указанных территориях были проведены исследования уровня катагенеза ОВ комплексом вышеописанных методов и установлены разные степени катагенеза от протокатагенеза до градации МК₂₋₃ мезокатагенеза, что указывает на главную фазу нефтеобразования. Реже фиксируется газовая стадия мезокатагенеза. Тем самым, увеличивается интерес к переинтерпретации и доизучению материалов старых добывающих территорий с хорошо развитой инфроструктурой.

УДК 631.43, 631.46

О ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Салимгареева О.А., Гасина А.И., Ежелев З.С.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail salimgareevaoa@my.msu.ru

Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным было разработано учение об экологических функциях почв в биосфере. Много работ посвящено изучению отдельных функций, при этом наблюдается все больше исследований по обеспечению почвами потребностей

общества водными ресурсами, пищей, поддержанию биоразнообразия и экосистемным услугам.

По проявлению экологических функций почв черноземы относятся к категории высокой интегральной интенсивности функционирования почв. В этих почвах функция плодородия сочетается со многими другими. Имея высокие сорбционные свойства, эти почвы характеризуются хорошей средоохранной функцией и связанной с ними защитой грунтовых вод.

Черноземные почвы занимают всего 7 % территории страны, при этом они являются основной житницей, где производится более половины продукции растениеводства России. Типичные черноземы обладают наибольшим плодородием, но в условиях интенсивной сельскохозяйственной нагрузки отмечается их деградация, возрастает угроза ветровой и водной эрозии. Агролесомелиорация помогает предотвратить такие последствия. Контурно-мелиоративное земледелие (КМЗ) с использованием защитных лесных полос на опытных полях на территории ОПХ ВНИИЗ и ЗПЭ с 1986 г. по 2000 г. привело к снижению смыва почвы и повышению урожайности сельскохозяйственных культур за счет оптимизации водного режима на участках с контурно-мелиоративной организацией территории (по данным ВНИИЗ и ЗПЭ). Проведенные нами исследования показали некоторое улучшение микроагрегатного состава на водосборе с защитными стокорегулирующими лесополосами.

Целью работы явилась оценка особенностей водоудерживающей способности черноземных почв при изменении гидротермического режима в антропогенно-преобразованных экосистемах при контурно-мелиоративном земледелии.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования являются верхние горизонты черноземов типичных среднemocных тяжелосуглинистых на лессовидных суглинках.

Исследования были проведены:

на Стрелецком участке территории Центрально-Черноземного государственного природного биосферного заповедника имени профессора В.В. Алехина (далее ЦЧГБЗ) на участке абсолютно заповедной некосимой степи (НС – N 51,5715360, E 36,0943290); На двух вариантах опыта по контурно-мелиоративному земледелию (КМЗ) «Курского ФАНЦ» в Медвенском районе Курской области близ хутоа Черниченские дворы: на плакоре контрольного водосбора (К) - разрез 1 (N 51,521180 E 036,042832); на плакоре водосбора, где через 216 м посажены узкие 2-х рядные стокорегулирующие лесные полосы (ЛП) с канавами между рядами деревьев глубиной 1,5 м - разрез 3 (N 51,510470 E 036,041615).

В лаборатории были определены такие свойства верхних гумусово-аккумулятивных горизонтов черноземов: гранулометрический и микроагрегатный состав методом пипетки по Качинскому, содержание общего гумуса по ГОСТ 26213-91, произведено микроморфологическое описание шлифов при помощи поляризационного микроскопа модели Soptor CX40P ЦКП МГУ «Карбоновая долина». По результатам микроагрегатного и гранулометрического анализа были вычислены коэффициент дисперсности по Качинскому (Кд) и степень агрегированности по Бэйверу (Аг). Полная удельная поверхность черноземов была определена по адсорбции паров воды над насыщенными растворами солей с использованием метода БЭТ. Основную гидрофизическую характеристику (ОГХ) определяли тензиостатическим методом в области r_f от 0 до 4.2 и равновесием над насыщенными растворами солей (K_2SO_4 , KCl , $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $LiCl \cdot H_2O$). При использовании лабораторных ОГХ определили по методу Воронина величины основных почвенно-гидрологических констант: максимальную адсорбционную влагоемкость (МAB), максимальную гигроскопическую влажность (МГ), влажность завядания растений (ВЗ), наименьшую влагоемкость (НВ), капиллярную влагоемкость (КВ), полную влагоемкость (ПВ) в процентах к весу почвы.

Все статистические расчеты были произведены при помощи программы STATISTICA 7.

Результаты и обсуждение. Отмечено ухудшение свойств чернозема типичного при длительной распашке по сравнению с целинными, согласующееся с литературными данными. Наблюдается уменьшение многопорядковости агрегатов, упрощение структурной организации порового пространства, потеря гумуса.

Многолетнее сельскохозяйственное использование не приводит к изменению гранулометрического состава. Все исследованные черноземы типичные относятся к тяжелосуглинистым иловато-крупно-пылеватым.

Согласно коэффициенту дисперсности по Качинскому (Кд) и степени агрегированности по Бэйверу (Аг) наилучшие показатели имеют целинные типичные черноземы.

Статистически значимое превышение Аг на черноземах водораздела с ЛП по сравнению с контролем в среднем на 4% свидетельствует о том, что при использовании КМЗ за 40 лет произошло некоторое увеличение стабильности почвенной микроструктуры.

Согласно полученным данным, наибольшую полную удельную поверхность (Спол), равную в среднем 111,8 м²/г, имеют целинные черноземы, несколько более низкими значениями обладают пахотные типичные черноземы опыта по КМЗ: 99,1±0,3 м²/г на водоразделе с ЛП и 98,6±0,5 м²/г на контроле соответственно. При этом превышение Спол на участке с ЛП на 0,5 м²/г не выходит за пределы статистически значимого отличия.

Анализ ОГХ исследованных черноземов показал, что пахотные черноземы опыта КМЗ имеют близкую водоудерживающую способность на опытном поле и контроле, которая во всех диапазонах давления почвенной влаги значимо ниже по сравнению с целинным типичным черноземом. Наименьшая разница отмечена в диапазоне адсорбированной влаги. В диапазоне пленочной влаги это различие возрастает, и значения влаги завядания (ВЗ) целинного типичного чернозема имеют величину весовой влажности 36%, а ВЗ пахотных образцов около 28%. Наименьшая влагоемкость (НВ) целинных образцов 44% при 39 % для пахотных, что выше (на 5%). Только для полной влагоемкости (ПВ) водоудерживающая способность чернозема участка с ЛП (62%) статистически значимо выше, чем на контроле (53%), но ниже заповедного аналога (69%), что может свидетельствовать о большем количестве крупных пор на опытном поле по сравнению с контролем. Рост водоудерживающей способности при применении стокорегулирующих лесополос в интервале гравитационной влаги способствует накоплению большего влагозапаса после сезонного переувлажнения почвы, оптимизации водного режима и лучшему выполнению черноземом типичным экологических функций.

Работа выполнена по теме государственного задания МГУ № 122011800459–3, в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве с ФБГНУ «Курский ФАНЦ».

Благодарим сотрудников ЦЧГБЗ за помощь, оказанную во время полевых работ.

УДК 630.232

БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ И НАЗЕМНЫЙ ДЕТРИТ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СТРУКТУРНО - ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОДСТИЛОК

Семенюк О.В.¹, Телеснина В.М.², Богатырев Л.Г.³

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, olgatour@rambler.ru,

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, vtelesnina@mail.ru,

³МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, bogatyrev.l.g@yandex.ru

Биологический круговорот включает в себя как создание органического вещества живыми организмами и его консервацию, так и трансформацию мертвого органического вещества с последующим включением продуктов деструкции в другие звенья биологического круговорота. Согласно взглядам М.А. Глазовской (1988) мертвое органическое вещество определено как детрит, который формируется как в водной среде, так в наземных экосистемах. В наземных экосистемах детрит представлен мортмассой: отпад древесных

насаждений, опад корневой и листовой, подстилки травяных систем и зеленых насаждений и т.д.

В детрите экосистем зеленых насаждений подстилки занимают особое место, выполняя ряд важнейших экологических функций. Являясь частью почвы, подстилки выполняют ряд важных функций (Богатырев, 1998): депо элементов питания, материал для образования гумуса почвы, локальный геохимический барьер и др.

Изучение подстилок имеет давнюю историю, исследования проводились по широкому кругу направлений с использованием различных подходов и методов. В этом ряду особое место занимают работы Н.И. Базилевич с соавторами (1965), которые установили географические закономерности биологического круговорота, одним из основных звеньев которого являются запасы подстилки и их отношение к годовому опад.

Л.О. Карпачевский (2007) оценивал пространственную неоднородность почвенных свойств и свойств подстилок в том числе, делая акцент на внутрибиогеоценозной изменчивости в пределах тессер. В лесном фитоценозе, прежде всего в хвойных насаждениях, дерево-эдификатор детерминирует внутреннюю пространственную структуру фитоценоза, единица которого является тессера – совокупность приствольного, подкронового и межкронового пространств. Предложено также разделение верхнего подгоризонта L на активную и пассивную фракции (Карпачевский, 1977). Активная фракция представляет собой относительно легко разлагаемые компоненты – фотосинтезирующую массу (листва и хвоя), в то время как пассивная фракция состоит из шишек, веток, коры и т.п.

В работах Л.Г. Богатырева (2004, 2011) сформулирована концепция структурно-функциональной организации подстилок. В основе концепции лежат представления о генезисе подстилок, процессах, определяющих их морфологическое строение и формирование различных подгоризонтов.

Подстилка отражает взаимодействие растительности и других факторов окружающей среды, представлена слоем органического материала на поверхности почвы, сформированного преимущественно из растительного опада и находящегося на разных стадиях разложения в зависимости от конкретных условий. Подстилка - наиболее мобильный компонент экосистемы, который в значительной мере является результатом достаточно быстрого преобразования поступающего опада и отражающий соотношения процессов разложения и накопления органического вещества в системе, что определяет его постепенную и последовательную гомогенизацию и расчлененность на генетические горизонты. Последняя выражается в наличии тех или иных подгоризонтов в профиле подстилок и характеризует их морфологическое строение.

На основе морфологического строения подстилок в классификации, предложенной Л.Г. Богатыревым (1990), типология подстилок определяется на высшем таксономическом уровне с учетом набора генетических подгоризонтов. Деструктивные подстилки морфологически состоят из растительных остатков прошлых лет представлены единственным подгоризонтом L. При снижении скорости разложения формируются подстилки более сложного строения ферментативные (L-F) и гумифицированные (L-F-H), которые включают в себя соответственно ферментативный (F) и гумифицированный (H) подгоризонты, различающиеся по степени разложения органического вещества.

Гумифицированные подстилки характеризуются наибольшей мощностью и запасами, что свидетельствует об активном депонировании органического вещества. Типология подстилок отражает скорость преобразования органического вещества, их функционирование и соответственно особенности биологического круговорота.

Высокая динамичность свойств подстилок как части почвенного профиля и как компонента экосистемы, активная деструкция органического вещества и последующее включение продуктов разложения в различные звенья биологического круговорота определяет интерес к функционированию подстилок и приобретает особую актуальность в рамках проблемы климатических изменений и оценке цикла органического вещества и прежде всего углерода. Возникает необходимость получения более подробной

информации о структуре и функционировании подстилок. Основываясь на классических работах по изучению подстилок, как ответ на новые запросы в области экологических проблем получили дальнейшее развитие предложенные ранее подходы и методы их исследования.

За последнее время получена новая информация в области изучения подстилок широкого набора видов древесных насаждений на уровне как строения их профиля, так и фракционного состава верхнего подгоризонта L. Работы проводились в Костромской и Московской областях, в насаждениях различных функциональных зон города Москвы, в том числе на охраняемых озелененных территориях - парки Измайлово, Тропарево, Битцевский, Лосиный остров, а также в дендрарии ботанического сада МГУ. Объектами исследования послужили разновозрастные хвойные (еловые, сосновые, лиственничные) и лиственные (береза, липа, клен) насаждения от 70 до 120 лет.

На основе анализа и обобщения полученных данных для оценки структурно-функциональной организации подстилок предложена система показателей, включающая соответственно показатели структуры и функционирования подстилок, которые характеризуют свойства подстилок и их изменения на различных этапах разложения органического вещества в разные промежутки времени. К базовым показателям относятся тип подстилки, ее общая мощность и запасы. Увеличение запасов подстилок указывает на снижение скорости биологического круговорота и, соответственно, увеличение депонирования органического вещества.

Показателями структуры являются система генетических подгоризонтов, количество которых определяет строение и классификационную принадлежность подстилок.

Показатели функционирования разделены на группы, которые характеризуют функционирование подстилок в различные периоды времени: циклы сезонные, годовые, краткосрочные и долгосрочные, позволяющие оценивать изменение подстилок в различные временные сроки. Для оценки изменения свойств подстилок в сезонном, годовом и краткосрочном циклах функционирования используют показатели подгоризонта L как наиболее динамичного по отношению к нижележащим подгоризонтам подстилки. В основе изучения сезонного цикла функционирования лежит периодический отбор образцов с любыми временными промежутками, определяемыми задачами исследования. Оценка долговременного цикла функционирования основана на свойствах, которые характеризуют профиль подстилок – соотношение запасов (или мощности) верхних и нижележащих подгоризонтов.

В профиле подстилок особого внимания заслуживает наиболее динамичный подгоризонт L, который можно рассматривать как зону активной деструкции поступающего опада. Подгоризонт L весьма неоднороден, состоит из разнообразных фракций (листья, ветошь, хвоя, ветки, кора, плоды) отличающихся по биохимическому и химическому составу, что определяет их устойчивость к деструкции биотой. Для широкого набора видов древесных пород предложена группировка фракций подгоризонта L в связи с их относительной устойчивостью к процессам деструкции заключенного в них органического вещества (Таблица 1).

К наименее устойчивым к процессам деструкции фракциям можно отнести компоненты подстилок, которые легко разлагаются микроорганизмами, а также являются наиболее доступным органическим веществом для мезофауны. К таким фракциям относится ветошь, представленная мертвым органическим веществом травянистых растений. Высокой доступностью для питания биоты отличаются также фракция листьев в подстилках лиственных насаждений и фракция хвои лиственницы, которая сбрасывается древостоем ежегодно. Биологические особенности пород, ежегодно меняющих фотосинтезирующую часть фитомассы, определяют химический и биохимический состав легкоразлагаемых фракций, обеспечивая быструю скорость их разложения и возврат элементов в биологический круговорот.

Таблица № 1. Группировка фракций подгоризонта L в связи с относительной устойчивостью к процессам деструкции органического вещества

Группы фракций по относительной устойчивости к деструкции	Фракции подгоризонта L
Неустойчивые к деструкции	Фракция ветоши, а также фотосинтезирующая фракция листопадных пород (листья и хвоя лиственницы)
Относительно устойчивые к деструкции	Фотосинтезирующая фракция опада вечнозеленых хвойных пород, фракция детрита
Устойчивые к деструкции	Фракции коры, веток, плодов, шишек

Относительно устойчивое к деструкции органическое вещество представлено во фракциях детрита и хвои вечнозеленых пород. Скорость разложения хвои ели и сосны ниже, чем лиственницы и опада листьев. В подгоризонте L среди фракций выделяется детрит, который представлен сильно разложившимися растительными остатками с примесью минеральных частиц. Высокая степень разложения растительных остатков не позволяет определить их происхождение и произвести их морфологическую идентификацию. Детрит является продуктом разложения всех фракций подгоризонта L, однако в первую очередь он образуется из легко разлагаемых компонентов. По отношению к легко разлагаемым фракциям интенсивность деструкции самого детрита, по-видимому, понижена, так как он представляет собой результат преобразования этих и других фракций.

В группу устойчивых к разложению фракций включены ветки, кора и плоды. Почти для всех насаждений выявлено преобладание веток в этой группе фракций.

Анализ группового состава подгоризонта L подстилок различных насаждений показал, что для подгоризонтов L практически всех насаждений доминирующей является группа устойчивых к деструкции фракций, составляющая 40-60% от общего запаса подгоризонта. Искоючение составили подстилки насаждений клена, где в составе подгоризонта L преобладает фракция неустойчивых к разложению компонентов, а именно листьев. Значительных различий между лиственными и хвойными породами, вечнозелеными и листопадными не наблюдается. Как и следовало ожидать, отмечается повышенная доля группы неустойчивых фракций (30-45%) в подстилках лиственных пород. Роль этой группы в хвойных насаждениях в значительной мере зависит от развития подроста и подлеска, а также от активности латерального переноса листьев из соседних фитоценозов. Особый интерес представляют данные по группе относительно устойчивых компонентов. Различия между листопадными и вечнозелеными видами проявляются достаточно четко: доля условно устойчивых фракций в подстилках вечнозеленых насаждений в 1,5-2 раза выше, чем в листопадных как за счет хвои, так и за счет детрита.

Полученные данные показывают, что в структуре подгоризонтов L подстилки практически всех насаждений долгосрочное депонирование органического вещества характеризуется близкими значениями и в среднем устойчивые фракции составляют около половины всего запаса органического вещества подгоризонта. Существенные различия в доле условно устойчивых фракций свидетельствуют о значительном различии в скорости биологического круговорота в подстилках листопадных и вечнозеленых насаждений. По-видимому, группу относительно устойчивых к деструкции фракций можно рассматривать как определяющую скорость биологического круговорота в подгоризонтах L подстилок как лиственных, так и хвойных насаждений, и использовать в качестве индикатора интенсивности биологического круговорота.

Как было сказано выше, показатели подгоризонта L используются для оценки изменения свойств подстилок в сезонном, годичном и краткосрочном циклах функционирования подстилок. Группировка компонентов подгоризонта L по устойчивости к деструкции органического вещества позволяет также оценить поэтапность процесса деструкции с учетом особенностей и неоднородностью фракционного состава подстилок различных насаждений. Наряду с указанными показателями функционирования в относительно небольших по продолжительности циклах времени, предложенный подход по группировки фракционного состава подстилки может рассматриваться как дополнительная характеристика не только структурно-функциональной организации, но и временной динамики подстилок.

Итак, для оценки интенсивности биологического круговорота, скорости и последовательности разложения фракций органического вещества рекомендуется дифференцировать верхний подгоризонт подстилки как наиболее мобильный на группы фракций, отличающиеся по устойчивости к деструкции. Установлено, что в отличие от подстилок листопадных пород в подстилках вечнозеленых насаждений накопление органического вещества характерно как для фракции устойчивых к деструкции, но в значительной мере для фракций относительно устойчивых к разложению органического вещества. В связи с этим подстилки вечнозеленых насаждений отличаются повышенной способностью депонировать органическое вещество не только за счет формирования сложных подстилок с несколькими подгоризонтами, но и на уровне верхнего подгоризонта L, что определяет особенности их функционирования и биологического круговорота органического вещества. Запас и доля относительно устойчивых к разложению органического вещества могут служить индикаторами соотношения процессов аккумуляции и деструкции в лесной подстилке.

УДК 631.4.

ОПЫТ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО КРУГЛОГОДИЧНОГО МОНИТОРИНГА ПОЧВЕННОГО ДЫХАНИЯ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ МЕТОДОЛОГИИ КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНОВ

Смагин А.В.^{1,2}, Садовникова Н.Б.^{1,2}, Сухоруков С.В.², Беляева Е.А.², Корчагина К.В.², Кривцова В.Н.², Богдан Е.В.^{1,2}, Касимов А.Р.³

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: smagin@list.ru;

²Институт лесоведения РАН, МО, Успенское, e-mail: korchagina@ilan.ras.ru;

³Sultan Qaboos University, Muscat, Oman, e-mail: anvar@squ.edu.om

Актуальность полевого мониторинга почвенного дыхания не вызывает сомнений и определяется значимостью этого процесса в оценке биологической активности почв и углеродного цикла наземных экосистем. Из-за доминирования ручных измерений плохо исследованы закономерности суточной и сезонной динамики почвенного дыхания, особенно в ночные часы и холодное время года. Доклад представляет новый подход, позволивший полностью автоматизировать полевой мониторинг почвенного дыхания с целью выявления закономерностей его разномасштабной динамики в годовом цикле. Ноухау подхода заключалось в использовании периодически продуваемых атмосферным воздухом почвенных камер со встроенными бюджетными CO₂-логгерами HT-401/5, регистрирующими динамику концентраций CO₂ каждую минуту. Продувка атмосферным воздухом выводила концентрацию CO₂ в камере на фоновый уровень, после чего компрессор выключался, и логгер записывал тренд накопления CO₂ вследствие почвенного дыхания, использующийся для стандартного расчета потока CO₂ по линейной модели для закрытой камеры. Результаты непрерывного автоматического мониторинга потоков CO₂ на стационарном объекте Института лесоведения РАН в Серебряноборском опытном лесничестве на окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве (loamy sand Cambisol) под посадками голубой ели (*Picea pungens*, Engelm.) в течение 2024-2025 гг. с двумя холодными сезонами (Рис. 1) показали значимость ночного почвенного

дыхания в суточном цикле и дыхания в холодный период года с ноября по март в годовом цикле, а также роль температурного фактора в разномасштабной динамике почвенного дыхания, что представляет интерес для прогнозных эмпирических моделей этого процесса в условиях меняющегося климата.

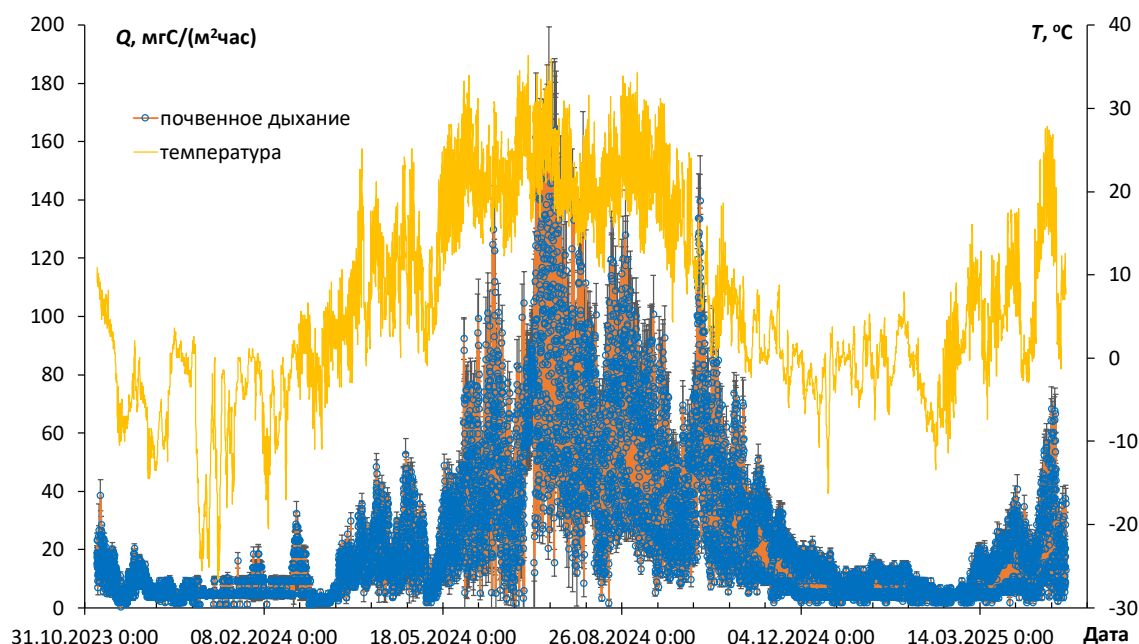


Рисунок 1. Осредненные почасовые эмиссионные потоки CO_2 за весь период измерений с ноября 2023 по май 2025 г в связи с синхронной почасовой динамикой температуры воздуха (здесь и далее вертикальные планки - доверительные интервалы при $p=0.05$).

По закономерностям сезонной динамики более 50% общегодового потока формируются в летние месяцы с доминированием вкладов июля и августа (17-22%) и меньшим вкладом июня (11-11%). Зимние месяцы (декабрь-февраль) дают вклады не более 2-3% каждый и в сумме не более 6% от годового потока. Доля эмиссии с марта по май увеличивается от 2-3% до 6-7% с суммарным вкладом весны до 15%. Доля осенних месяцев максимальна у сентября и октября (12-13%) и минимальна у ноября (2-6%), но в сумме осень дает почти вдвое больший вклад, чем весна (до 30% годовой эмиссии CO_2), что, может быть связано не только с текущей биологической активностью в теплые осенние месяцы, но и с выходом ранее накопленного в почвенной толще CO_2 .

Результаты высокочастотного мониторинга почвенного дыхания позволили репрезентативно оценить влияние гидротермических факторов на эмиссию CO_2 за весь период наблюдений в виде соответствующих эмпирических моделей. Влияние почасовой температуры воздуха соответствует экспоненциальной эмпирической связи между температурой и плотностью потока CO_2 , к которой могут быть сведены известные функции «Q10», Аррениуса и ряд других моделей. Однако, высокое варьирование данных, особенно в теплое время года с потоками от 50-100 $\text{mgC}/(\text{m}^2\text{час})$ и выше, дает относительно низкие коэффициенты детерминации (R^2) для экспоненциальной модели в диапазоне 0.48-0.54 со стандартными ошибками $s = 19-28 \text{ mgC}/(\text{m}^2\text{час})$ существенно превышающими большинство доверительных интервалов экспериментальных оценок моделируемого показателя. Учет еще одного контролирующего фактора – относительной влажности воздуха несколько улучшает модельный прогноз почвенного дыхания. С этой целью мы модифицировали стандартную модель нормального двумерного распределения Гаусса для переменных температуры и влажности воздуха. Ее использование вместо чисто температурной модели позволило снизить стандартную ошибку для всего массива данных (13 тыс. измерений) в 1.8 раза ($s = 16 \text{ mgC}/(\text{m}^2\text{час})$) и повысить коэффициент детерминации

($R^2 = 0.57$). Гидротермические факторы контролируют более 50% дисперсии полученных высокочастотным мониторингом данных эмиссии CO_2 , но, на наш взгляд, этого недостаточно, чтобы корректно прогнозировать отклик почвенного дыхания на климатические изменения без выявления причины оставшихся 40-50% дисперсии. Особый интерес представляет возможность проверки с помощью круглогодичного высокочастотного (раз в час) мониторинга некоторых закрепившихся в науке о почвах и методологии карбоновых полигонов положений касательно репрезентативности измерений почвенного дыхания в суточном и сезонном циклах. Проверялись широко известные «рабочие» гипотезы об отражении утренними измерениями почвенного дыхания среднесуточной эмиссии CO_2 и о возможности экстраполяции замеров раз в неделю или декаду на весь месяц. Для среднесуточных потоков, несмотря на хорошую общую скореллированность данных, расхождения могут быть весьма высокими и достигать 40-90%. Особенно сильные расхождения и соответствующие ошибки в оценке среднесуточных величин эмиссии CO_2 возникают в теплый период года с относительно высокими потоками порядка 100 мгС/(м²час) и более. Экстраполяция замеров раз в неделю или декаду на весь месяц приводит к систематическому занижению среднемесячных оценок на 14-15%, однако спорадические отклонения от реальных оценок, как и в случае суточной динамики, могут быть весьма высокими и достигать 40-50%. При этом в холодный период года с небольшими потоками CO_2 до 20 мгС/(м²мес) экстраполяция на месяц разовых оценок, как правило, приводит к переоценке почвенной эмиссии на 10-50%, а в теплый период с потоками в диапазоне 40-80 мгС/(м²мес) нередко наблюдается недооценка реальных потоков до 10-40%.

Исследование выполнено при поддержке междисциплинарного гранта РНФ № 23-64-10002 и в рамках темы № 121040800146-3 государственного задания Минобрнауки РФ «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления».

УДК 573.4

ВЛИЯНИЕ МИКРОБНОЙ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ НА АЗОТФИКСАЦИЮ И ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В РИЗОСФЕРНОЙ ПОЧВЕ

Стариков П.А.¹, Костина Н.В.², Домрачева Л.И.¹

¹Вятский ГАТУ, Киров, email: ya.starikov-pavel@yandex.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, email: nvkostina@mail.ru

В модельном лабораторном эксперименте с яровой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) установлено, что предпосевная инокуляция семян композициями микромицета *Trichoderma atroviride* К-01П с diaзотрофными бактериями *Azotobacter chroococcum* РП-22 и *Fischerella muscicola* 300 приводит к изменению интенсивности процессов азотфиксации и эмиссии углекислого газа в ризосферной почве. Введение в почвенный микробиом *A. chroococcum* и *F. muscicola* вызывает возрастание показателя потенциальной активности азотфиксации на 52,1–73,8%, а также наблюдается увеличение актуальной и потенциальной эмиссии CO_2 на 23,2 и 15,4% соответственно при инокуляции комплексом *T. atroviride* + *A. chroococcum* + *F. muscicola*.

Оценка влияния микробных биопрепаратов на сельскохозяйственные культуры и биохимические процессы в почве является одним из ключевых направлений агробиотехнологии. Оказывая комплексное влияние на агробиоценозы, микробы-интродуценты благотворно влияют на урожайность и качество растениеводческой продукции. Среди агентов для создания микробиологических препаратов выделяются микромицеты рода *Trichoderma*, агрономически ценные свойства которых достаточно подробно описаны в литературе (Guzmán-Guzmán et al., 2025). Лишь небольшое число работ посвящено исследованию микробных комплексов триходермы со свободноживущими бактериями-диазотрофами, использующимися в агрономической

практике. В частности, в ряде работ отмечается положительный эффект в виде стимуляции роста и иммунитета растений при изучении комплексов *Trichoderma* spp. с *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Anabaena* sp. (Velmourougane et al., 2019; Михайловская и др., 2021; Prasanna et al., 2014). При этом отсутствуют работы, изучающие влияние подобных микробных композиций на такие показатели состояния почвы, как эмиссия углекислого газа и азотфиксация.

Цель настоящей работы – изучение влияния микробной инокуляции семян пшеницы триходермально-дiazотрофными комплексами на биологическую активность ризосферной почвы.

Для проведения исследований использовали среднесуглинистую дерново-подзолистую почву, которую отбирали в фитопитомнике ФГБНУ Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудниченко, г. Киров (58°56.8080' N, 49°67.6426' E) из пахотного горизонта с глубины 0–20 см. По данным агрохимического анализа почва содержит 1,85% органического вещества (гумуса); обменного калия (K_2O) – 260 мг/кг, подвижного фосфора (P_2O_5) – 280 мг/кг; нитратного азота (NO_3^-) – 5,4 мг/кг; pH водной вытяжки 6,2; pH солевой вытяжки 5,0. Отобранную почву просеивали через сито 3 мм, предварительно удалив из нее остатки корней. После этого навески почвы (1600 ± 10) г помещали в пластиковые вегетационные сосуды объемом 2 дм³. Семена мягкой яровой пшеницы сорта Баженька инокулировали суспензиями микроорганизмов *Trichoderma atroviride* К-01П, *Azotobacter chroococcum* РП-22, *Fischerella muscicola* (Thur.) Gom. 300 и их сочетаниями.

Для получения микробных инокулянтов проводили культивирование *T. atroviride* на агаризованной среде Чапека, *A. chroococcum* – на плотной среде Эшби, *F. muscicola* – на жидкой среде Громова №6 без источника азота. Титр *T. atroviride* составлял $5,5 \cdot 10^7$ конидий/мл, *A. chroococcum* – $1 \cdot 10^9$ кл./мл, *F. muscicola* – $1,5 \cdot 10^7$ кл./мл. Титр суспензий микромицета и цианобактерии подсчитывали в камере Горяева, а *A. chroococcum* – методом серийных разведений. В контроле семена замачивали в стерильной водопроводной воде (время экспозиции 30 минут). Для сравнения активности микробных и химических препаратов семена обрабатывали фунгицидом «Максим» (действующее вещество – флудиоксонил) согласно инструкции. В вариантах с комбинированными инокулянтами смешивали суспензии в равных объемных соотношениях. Повторность четырехкратная. Варианты: 1 – контроль; 2 – фунгицид «Максим»; 3 – *T. atroviride* К-01П; 4. – *T. atroviride* К-01П + *F. muscicola* 300; 5 – *T. atroviride* К-01П + *A. chroococcum* РП-22; 6 – *T. atroviride* К-01П + *A. chroococcum* РП-22 + *F. muscicola* 300.

Семена высевали на глубину 2 см. Влажность почвы в течение опыта составляла 60% от полной влагоемкости, температура 22 ± 2 °C; фотопериод 18/6, освещенность 8000 лк, цветовая температура 6500 К (холодный голубоватый свет, близкий к естественному дневному освещению). Вегетация с момента посева длилась в течение 30 суток (до полного развития 3-х листьев). Густота стояния растений соответствовала плотности посева 500 шт./м². Влажность почвы контролировали путем периодического взвешивания сосудов и полива почвы водопроводной водой.

Определение азотфиксирующей активности и эмиссии углекислого газа проводили методами газовой хроматографии.

Статистическая обработка результатов состояла в расчете среднего и стандартного отклонения. Сравнение средних для вариантов без инокуляции (контроль) и с внесением микробных штаммов и химического фунгицида проводили на основании однофакторного дисперсионного анализа при выбранном уровне доверительной вероятности 95%. Данные обработаны в программах Excel и STATISTICA.

При проведении лабораторного опыта установлено, что обработка семян пшеницы суспензиями, содержащими *Azotobacter chroococcum* РП-22 и *Fischerella muscicola* 300, привела к значимому повышению уровня потенциальной эмиссии углекислого газа и потенциальной активности азотфиксации. Так, введение в почвенный микробиом *A.*

chroococcum и *F. muscicola* вызывает возрастание показателя потенциальной активности азотфиксации от 52,1 при введении цианобактерии до 73,8% в случае тройного инокулянта. В то же время при инокуляции монокультурой *T. atroviride* все исследуемые показатели азотфиксирующей активности почвы остаются на уровне контроля (табл.). Это свидетельствует о существенном вкладе штаммов-интродуцентов *A. chroococcum* РП-22 и *F. muscicola* 300 в биохимические процессы цикла азота в почве. При этом известно, что микровицеты рода *Trichoderma* за счет гидролитической активности, связанной с разложением растительных полимеров, стимулируют азотфиксацию. В частности, показана способность *T. asperellum* к усилению азотфиксирующей активности бактерии *Bacillus cereus* var. *mycoides* в 2–4 раза при инокуляции штаммов в почву, содержащую целлюлозу или остатки топинамбура (Кураков и др., 2006).

Табл. Влияние предпосевной инокуляции семян пшеницы на процессы азотфиксации и эмиссию углекислого газа в ризосферной почве

Вариант	Активность азотфиксации, нг C ₂ H ₄ /(г сутки)		Эмиссия CO ₂ , мкг CO ₂ /(г сутки)	
	Актуальная	Потенциальная	Актуальная	Потенциальная
Контроль	1,62±0,55	874±138	32,43±3,89	463,93±23,32
Фунгицид «Максим»	2,03±0,73	1050±257	30,87±4,74	467,10±29,22
<i>T. atroviride</i>	1,72±0,53	987±129	27,67±2,82*	435,49±21,37*
<i>T. atrov.</i> + <i>F. mus.</i>	1,82±0,54	1329±187*	31,24±3,09	504,09±26,34*
<i>T. atrov.</i> + <i>A. chr.</i>	1,63±0,41	1391±125*	33,30±5,16	506,27±16,33*
<i>T. atrov.</i> + <i>A. chr.</i> + <i>F. mus.</i>	1,59±0,28	1519±304*	39,95±6,69*	535,46±31,47*

* Значимое отличие от контроля, «±» – стандартное отклонение

Эмиссия углекислого газа напрямую связана с процессом секвестрации органического углерода в почве и, в первую очередь, обусловлена активностью микробов-гидролитиков: углекислый газ, выделяемый из почвы, влияет на стимуляцию процесса фотосинтеза у высших растений. Так, например, было показано, что биопрепараты на основе *Trichoderma viride* и *Pseudomonas aureofaciens* за счет усиления эмиссии CO₂ почвой способствуют увеличению накопления запасов гумуса в почве более чем в 2 раза (Масютенко и др., 2024). В нашем исследовании отмечается, что на слабогумусной дерново-подзолистой почве с очень низким содержанием азота монокультура *T. atroviride* не оказывает положительного влияния на процесс эмиссии углекислого газа. Напротив, под действием монокультуры триходермы наблюдается снижение актуальной и потенциальной эмиссии CO₂ в опыте на 14,7 и 6,1% соответственно. Лишь при коинокуляции с diaзотрофами происходит достоверное усиление этого биохимического процесса. Показатель потенциальной эмиссии углекислого газа на 8,7–9,1% возрастал в случае бинарной инокуляции *T. atroviride* + *F. muscicola* и *T. atroviride* + *A. chroococcum*. Причем интродукция тройного инокулянта в почву, помимо увеличения потенциальной эмиссии CO₂ на 15,4%, существенно повлияла и на актуальную эмиссию углекислого газа, увеличив ее на 23,2% к контролю. Предполагаем, что бактерии-азотфиксаторы способствуют улучшению азотного и углеродного питания микровицета и микробиома в целом, тем самым усиливая эмиссию CO₂.

Таким образом, по результатам исследования установлена способность микробных композиций *Trichoderma atroviride* К-01П с *Azotobacter chroococcum* РП-22 и *Fischerella muscicola* 300 увеличивать интенсивность процессов азотфиксации и эмиссии углекислого газа в почве ризосферы яровой мягкой пшеницы.

УДК 631.4, 551.8

ОСОБЕННОСТИ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КЛИМАТА В ПРЕДГОРЬЯХ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ, ВЫЯВЛЕННЫЕ В ЛЕССОВО-ПОЧВЕННОЙ СЕРИИ ПАЛЕОЛИТИЧЕСКОЙ СТОЯНКИ РАХАТ

Столпникова Е.М.¹, Ожерельев Д.В.², Ковалева Н.О.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail opallada@yandex.ru;

²Институт археологии РАН, Москва

Территория предгорий Северного Тянь-Шаня является слабо изученной в контексте палеопочвенных исследований. Также мало известна и климатическая ситуация на переходе от конца плейстоцена к голоцену. В виду удалённости от регионов Европы, Русской равнины имеющих множество климатических реконструкций для позднего плейстоцена, и конкретно для последнего ледникового максимума мы не можем ожидать полного совпадения периодов интерстадиалов и стадиалов. Более того плейстоценовое оледенение на Тянь-Шане имело свои особенности, например, такие как малое количество льда. также Почвенные исследования совместно с данными археологии позволяют представить на сколько резкими или же наоборот незначительными были изменения климата. За последние несколько лет здесь была проведена серия археологических раскопок, которая показала, что здесь проживал древний человек в одну из самых суровых для Восточно-Европейской равнины эпох последнего ледникового максимума. В данный период в исследуемом регионе происходило непрерывное накопление лессового материала, сформировавшего так называемые лессовые прилавки, окаймляющие предгорья, террасы горных рек. Исследованная нами палеолитическая стоянка Рахат (предгорья хребта Заилийский Алатау (Юго-Восточный Казахстан) как раз представляет собой лессово-почвенную серию сформировавшуюся в период 26-19 тысяч лет назад. По нашим данным в исследуемом регионе формировались слабообразованные синлитогенные почвы, которые сложно выделить по окраске, и скорее видны по изменению структуры. В целом по показателям изотопного состава углерода органического вещества, магнитной восприимчивости не наблюдается резких изменений климатической ситуации в этот период. Стоянка имеет два периода заселения, представленных более древними слоями (6-12) и более поздними (слои 1-5), разделёнными слоем лесса без находок. На глубинах на глубинах 9,3-10,8 м, соответствующих второй половине существования первой группы культурных слоёв (слои 6-9) фиксируется облегчение гранулометрического состава и резкий рост содержания фракции мелкого песка, на фоне преобладания фракции крупной пыли в остальных частях серии. Возможно, данный всплеск связан с увеличением скорости ветра, переносившим частицы, предвещающим некое климатическое событие. Значения изотопного состава для органического углерода колеблются в узких пределах от -24,1 до -25,5‰. Обычно подобные значения характерны для травянистых сообществ перемешанных с древесными или кустарниковыми. Для подтверждения чисто травянистых ландшафтов изотопный состав должен был бы быть тяжелее. Таким образом можно сказать, что в данном регионе период последнего ледникового максимума был гумидным и вероятно не таким суровым как на Русской равнине.

Величины магнитной восприимчивости подтверждают единые автоморфные условия формирования пачки. Исключением являются максимумы в очагах. Постепенно с глубиной она направлено уменьшается, фиксируя оглеение в нижней части лессово-почвенной серии раскопа. Данные результаты могут говорить о том, что климат в период формирования культурных слоёв был гумиднее, чем в более поздний период после 19 тыс лет и в голоцене. На некоторую аридизацию климата указывают и данные изотопного состава, фиксируется утяжеление состава. Таким образом аридизация климата предгорий Тянь-Шаня усиливалась скорее после последнего ледникового максимума.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 23-1800329 «Культурная динамика в эпоху среднего и верхнего палеолита на территории внутренних бассейнов аридной зоны Казахстана в контексте изменений окружающей среды»

УДК 631.466:632.95.028

ВЛИЯНИЕ ФУНГИЦИДОВ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Ступкина А.М., Колупаева В.Н., Бутко Н.Н., Щербакова Л.А.
ФГБНУ ВНИИФ, Большие Вяземы, anna.stupkina.vniif@mail.ru

В настоящее время применение пестицидов в сельском хозяйстве является важным элементом интегрированной системы защиты растений. С 1990 года произошло удвоение использования этих средств защиты, и в одном только 2022 году в мире применено 3,7 млн т пестицидов. По данным ФАО, использование пестицидов позволяет сохранить до 35-ти процентов урожая. Хотя пестициды предназначены для борьбы с вредными организмами, они также оказывают существенное воздействие на нецелевые организмы. Показатели трансформации азота и углерода широко используются для оценки воздействия пестицидов на почвенную экосистему, служа одним из лучших индикаторов уровня загрязнения почвы. Эти показатели могут отражать биомассу и структуру микробных сообществ и считаются интегративными биоиндикаторами.

Анализ данных показал, что степень и направленность воздействия фунгицидов на цикл азота зависит от типа и свойств почвы, механизма действия и нормы применения пестицида, а также сезона, климатических факторов и характера использования данной почвы в сельскохозяйственном производстве. В связи с этим целью работы было оценить степень и характер воздействия 4-х широко применяемых фунгицидов на процессы трансформации азота в дерново-подзолистой почве Нечерноземного региона.

В исследовании использовали коммерческие препараты Бенорад (500 г/кг беномила), Скор (250 г/л дифеноконазола), Колосаль (250 г/л тебуконазола) и Кобальт (400 г/л пропиконазола). Беномил принадлежит к химическому классу бензимидазолов, является системным фунгицидом и протравителем семян для борьбы с широким спектром заболеваний зерновых культур и сахарной свеклы, относится к малоподвижным (коэффициент распределения $K_{oc} = 1900$ мл/г) и стойким соединением (период полураспада $DT_{50} = 67$ сут). Дифеноконазол относится к классу триазолов, является фунгицидом широкого спектра действия, применяется для защиты овощных и зерновых культур, характеризуется как очень стойкий ($DT_{50} = 133$ сут) и малоподвижный ($K_{oc} = 3522$ мл/г) в почве. Тебуконазол – системный фунгицид из того же класса триазолов, используется для протравливания семян и опрыскивания вегетирующих растений, стойкий ($DT_{50} = 63$ сут) и малоподвижный ($K_{oc} = 769$ мл/г). Третий триазоловый фунгицид – пропиконазол - имеет широкий спектр фунгицидного действия, стойкий ($DT_{50} = 71,8$) и малоподвижный ($K_{oc} = 1086$ мл/г). Все изучаемые пестициды являются персистентными соединениями, поэтому могут оказывать длительное влияние на почвенную микрофлору, и малоподвижными, поэтому при попадании в почву они не мигрируют, а остаются в самых верхних слоях почвенного профиля.

Пестициды испытывали в максимальной рекомендованной норме применения: для Бенорада доза составила 1 кг/га, для Скора – 0,125 кг/га, для Колосаля – 0,25 кг/га, для Кобальта – 0,16 кг/га. Содержание пестицида в почве рассчитывали для слоя почвы 1 см при плотности почвы 1 г/см³.

Процессы нитрификации изучали в дерново-подзолистой почве (рН = 6,5, Сорг. = 2,0), используя утвержденную методику исследования (ГОСТ 32631-2014). Принцип метода состоит в том, что почву с внесенным в нее субстратом, который является легкодоступным источником углерода и азота, обрабатывают пестицидами. В определенные сроки пробоотбора определяют количество нитратов в образцах. Для исследования использовали свежесобранные пробы почвы. Образцы почвы были отобраны с глубины 0-20 см в Московской области с участка, который находился под сенокосом, и где ранее в течение по крайней мере 3-х лет не применялись химические

средства защиты растений. Исследование проводили в 3-х повторностях. Длительность эксперимента составила 84 дня.

В исследовании по изучению влияния фунгицидов на процессы трансформации азота в почве можно отметить удовлетворительную сходимость полученных результатов.

Коэффициент вариации для всех вариантов и сроков вместе составил 16,9%, однако на 7 сутки эксперимента наблюдалась большая вариабельность измеряемых значений (коэффициент вариации – 36,8 %).

Исследование показало, что Бенорад в максимальной рекомендованной дозе не оказывал влияния на процесс нитрификации. Скор в рекомендованной норме применения значимо ($p < 0,05$) снижал скорость нитрификации на 7 и 14 сутки в 3,9 и 1,4 раза соответственно, но этого не наблюдалось в более поздние сроки. Кобальт вызывал замедление нитрификации на 14 и 28 сутки опыта в рекомендованной норме применения в 3,3 и 1,6 раза соответственно. Кобальт ингибировал нитрификацию на 28 сутки в рекомендованной дозе в 1,3 раза.

Таким образом, беномил в рекомендованной норме применения не оказывал влияния на процесс нитрификации в почве. Фунгициды дифеноконазол, тебуконазол и пропиконазол, относящиеся к одному химическому классу соединений, оказывали сходное влияние на трансформацию азота, все они в эксперименте вызвали кратковременное снижение скорости нитрификации в рекомендованных нормах применения. Можно предположить, что подобное действие этих фунгицидов вызвано их влиянием на структуру микробного сообщества и снижение общей численности микроорганизмов – нитрификаторов в почве сразу после обработки. В дальнейшем микробное сообщество может адаптироваться к присутствию токсиканта и восстановить свою нитрифицирующую способность. Это согласуется с данными многих исследователей, сообщающих о том, что нередко после внесения пестицида происходит угнетение почвенного микробиома и наблюдается замедление скорости разложения пестицида. Спустя некоторое время, которое называют лаг-периодом, почвенные микроорганизмы приспосабливаются к присутствию токсиканта, в это время скорость разложения пестицида растет.

Пестицид, попавший в почву, подвергается процессу разложения, а также сорбируется твердой фазой почвы. Это приводит к снижению его концентрации в почвенном растворе, что может служить второй причиной ослабления влияния пестицида на скорость нитрификации.

Проведенное исследование показывает, что три из четырех изученных пестицидов способны оказывать кратковременное влияние на трансформацию азота в почве, и что бактерии – нитрификаторы, активность которых определяется концентрациями нитратов в почве, чувствительны к этим фунгицидам. Нитрифицирующая способность почвенной микрофлоры полностью восстанавливается к концу эксперимента.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №25-16-00229).

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ВЫСУШИВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПОЧВ И ПОИСК ПУТЕЙ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Сухарев А.И., Федотов Г.Н., Горепекин И.В.

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: suharevai@my.msu.ru

Почвенными коллоидами в российском почвоведении считаются частицы размером менее 0,1 мкм. В международной литературе коллоидная составляющая почв принимается

равной 1 мкм, что соответствует фракции ила в российской классификации почв по гранулометрическому составу.

Роль почвенных коллоидов, как правило, рассматривают в контексте миграционной способности загрязняющих веществ, содержания и сохранения органического углерода и питательных веществ, а также обеспечения структурной устойчивости и водоудерживающей способности почв. Из этого следует, что изменения в структуре коллоидной составляющей должны влиять на почвенные свойства.

Для теоретического описания поведения почвенных коллоидов используют теорию Дерягина – Ландау – Фервея – Овербека (ДЛФО). Эта теория была разработана для объяснения перехода свободно дисперсных лиофобных коллоидов (золей) в связнодисперсное состояние (гель). Согласно теории ДЛФО, фиксация коллоидных частиц друг относительно друга в ближнем или дальнем энергетических минимумах агрегации приводит к образованию гелей различных типов. При этом в зависимости от способа фиксации свойства гелей заметно отличаются – они могут образовывать компактные и рыхлые структуры. В теории ДЛФО было показано влияние размера и формы частиц, ионной силы растворов, концентрации многозарядных ионов, температуры и других факторов на строение образующихся гелей. Таким образом, теория ДЛФО позволяет характеризовать коллоидные системы с позиции образующихся структур и предсказывать их поведение при изменении внешних условий.

В 30-50-х годах XX века А.Ф. Тюлиным изучены химические особенности поверхности почвенных коллоидов и их взаимодействия с жидкой фазой почв. В результате исследований были разработаны новые представления о строении почвенных коллоидов в виде пленок-гелей, которые могут покрывать поверхность минеральных частиц или находиться в свободном состоянии. Связующим агентом в почвенных гелях являются надмолекулярные образования гуминовых веществ, которые при высушивании взаимопроникают друг в друга, что приводит к увеличению их размера. Поэтому для возврата структуры почвенных гелей в состояние, предшествующее высушиванию, следует отделить надмолекулярные образования друг от друга. Контроль восстановления в этом контексте следует проводить по методам, которые характеризуют взаимодействие твердой и жидкой фазы: вязкость почвенных паст и водоудерживающая способность почв. Целью работы являлась проверка влияния высушивания на вязкость почвенных паст и водоудерживающую способность почв.

Объекты исследования

Исследования проводили на образцах почв, отобранных из гумусово-аккумулятивных горизонтов почв зонального ряда:

- дерново-подзолистой (Московская обл.);
- серой лесной (Владимирская обл.);
- чернозема выщелоченный (Орловская обл.).

В работе использовали метод вибрационной вискозиметрии для определения вязкости почвенных паст, лазерной дифрактометрии – для оценки размера частиц в почвенных пастах, растровую электронную микроскопию – для оценки размера надмолекулярных образований гуминовых веществ, а также равновесного центрифугирования – для определения основной гидрофизической характеристики

В качестве метода оценки возврата воздушно-сухих почв к состоянию до высушивания использовали вязкость почвенных паст, отражающую изменение наноструктурной организации почв.

Почвенные пасты готовили, перемешивая почвы с необходимым количеством воды стеклянной палочкой 3-5 минут. Содержание воды в пастах варьировало от типа почв:

- дерново-подзолистая почва – 37%;
- серая лесная почва – 47%;
- чернозем выщелоченный – 57%;

Выбор содержания воды в пастах связан с нахождением их вязкости в оптимуме для измерения вискозиметром.

На первом этапе исследования было выдвинуто предположение, что возврат воздушно-сухой почвы к исходному состоянию можно осуществить с помощью введения дополнительной энергии, которая разделит надмолекулярные образования, стянувшиеся между собой при высушивании. Для экспериментальной проверки этой гипотезы к воздушно-сухому образцу добавляли количество воды, необходимое для достижения влажности наименьшей влагоемкости (НВ), которая обеспечит подвижность надмолекулярных образований. Полученный образец выдерживали в течение двух недель, предполагая, что за это время надмолекулярные образования и пространство между ними в гелях заполнится водой. Затем в систему вводили энергию: почву нагревали до 95 °С в течение суток. Полученный образец обрабатывали 10 мин на УЗ генераторе, остужали при комнатной температуре и выделяли надмолекулярные образования из почв для РЭМ. Проведенные эксперименты показали, что нагрев и УЗ-обработка почвенных паст приводили не к уменьшению, а укрупнению размеров надмолекулярных образований в почвах. То есть надмолекулярные образования не удается разделить. По-видимому, надмолекулярные образования не разделяются потому, что они преимущественно образованы гидрофобными связями, которые упрочняются с ростом температуры. Для предотвращения упрочнения гидрофобных связей в надмолекулярных образованиях механическое воздействие должно происходить без повышения или при понижении температуры. Таким воздействием могло быть замораживание, которое:

- снижает прочность гидрофобных связей из-за уменьшения температуры;
- кристаллизует воду, тем самым увеличивая её объем и создавая механическое воздействие, которое направлено на разрыв связей между надмолекулярными образованиями.

Работы по влиянию замораживания на почвенные свойства, прежде всего на водоустойчивость, если их рассматривать с позиций разрыва связей между надмолекулярными образованиями, это подтверждают.

Процесс разделения надмолекулярных образований и их возврата к состоянию до высушивания мы оценивали при помощи вибрационной вискозиметрии. Выбор метода связан с тем, что вязкость почвенных паст, обусловленная способностью гелей набухать, зависит от их строения. Чем меньше надмолекулярных образований в гелях связаны между собой, тем сильнее гели должны набухать, вбирая в себя воду и увеличивая вязкость почвенных паст.

Эффект разделения надмолекулярных образований в гелях путём замораживания должен проявиться при максимальном заполнении образца водой. Эксперименты показывают, что при влажности для каждой почвы ниже определенной величины замораживание не влияет на изменение их вязкости. Поэтому для набухания почвенных гелей в образце почвы должно быть достаточное количество воды: от наименьшей влагоемкости (НВ) и выше.

На следующем этапе исследования мы сравнили вязкость почвенных паст трёх образцов:

1. не подвергавшихся высушиванию;
2. воздушно-сухих;
3. воздушно-сухих, увлажненных и замороженных.

Результаты экспериментов на дерново-подзолистой, серой лесной почве и черноземе показали, что вязкость высушенных образцов удается восстановить до значений образцов, не подвергавшихся высушиванию. Для этого необходимо увлажнить образцы до влажности НВ и выдержать 14 суток, после чего провести заморозку при -20°С.

Полученные результаты говорят о том, что при увлажнении воздушно-сухих почв до значений НВ влага равномерно распределяется по образцу в течение 14 суток, а последующая заморозка позволяет разорвать связи между НМО в почвенных гелях за счёт расширения заключенной в них воды.

Для дополнительной проверки результатов вискозиметрии методом лазерной дифрактометрии сравнили содержание частиц илистой фракции, а также мелкой и средней пыли в образце чернозема: не подвергавшегося высушиванию, воздушно-сухого и восстановленного замораживанием. Результаты экспериментов показали, что замораживание приводит к заметному росту числа мелких частиц в восстановленном замораживанием почвенном образце по сравнению с его воздушно-сухим аналогом. Это подтверждает данные вискозиметрии: замораживание увлажненных почв увеличивает количество свободных НМО, не связанных с почвенными гелями.

Результаты опытов по вискозиметрии подтвердили влияние высушивания на вязкость почвенных паст. Увлажнение воздушно-сухих почв до значений НВ, выдерживание их во влажном состоянии и использование циклов замораживания-оттаивания позволяют восстановить вязкость образцов, характерную для образцов, не подвергавшихся высушиванию.

После проведения экспериментов по вязкости была проведена оценка влияния высушивания на основную гидрофизическую характеристику. Представленные на рисунке результаты свидетельствуют, что высушенный-увлажненный и выдержанный во влажном состоянии в течение суток образец имеет заметно меньшую водоудерживающую способность по сравнению с образцом, который не подвергался высушиванию. При использовании циклов замораживания-оттаивания наблюдается смещение кривой водоудерживания в направлении образца, не подвергавшегося высушиванию. Однако полного восстановления добиться не удается.

Нами было выдвинуто предположение, что процесс усадки гелей, который наблюдается при высушивании, может быть обратим, если увеличить отрицательный заряд гуминовых веществ путем повышения рН. В ходе экспериментов показано, что добавление в чернозем аммиачной воды с рН 10,5 и выдерживание его в увлажненном состоянии 3 суток позволяет восстановить водоудерживающую способность высушенного чернозема до значений образца, не подвергавшегося высушиванию.

Таким образом, разделение частиц в органоминеральных гелях можно рассматривать как прием восстановления свойств высушенных почвенных образцов до состояния образцов, не подвергавшихся высушиванию.

Выводы

1. Увлажнение воздушно-сухих образцов водой не приводит к восстановлению их основной гидрофизической характеристики и вязкости приготавливаемых из них паст.
2. Показана возможность восстановления циклами замораживания-оттаивания вязкости почвенных паст образцов дерново-подзолистой, серой лесной почвы и чернозёма до состояния не подвергавшихся высушиванию образцов.
3. Использование 2 циклов замораживания-оттаивания позволяет частично восстановить значения основной гидрофизической характеристики высушенных образцов чернозёма. выщелоченного до состояния исходных почв.
4. Показана возможность восстановления основной гидрофизической характеристики образцов чернозёма за счёт увлажнения воздушно сухих образцов аммиачной водой

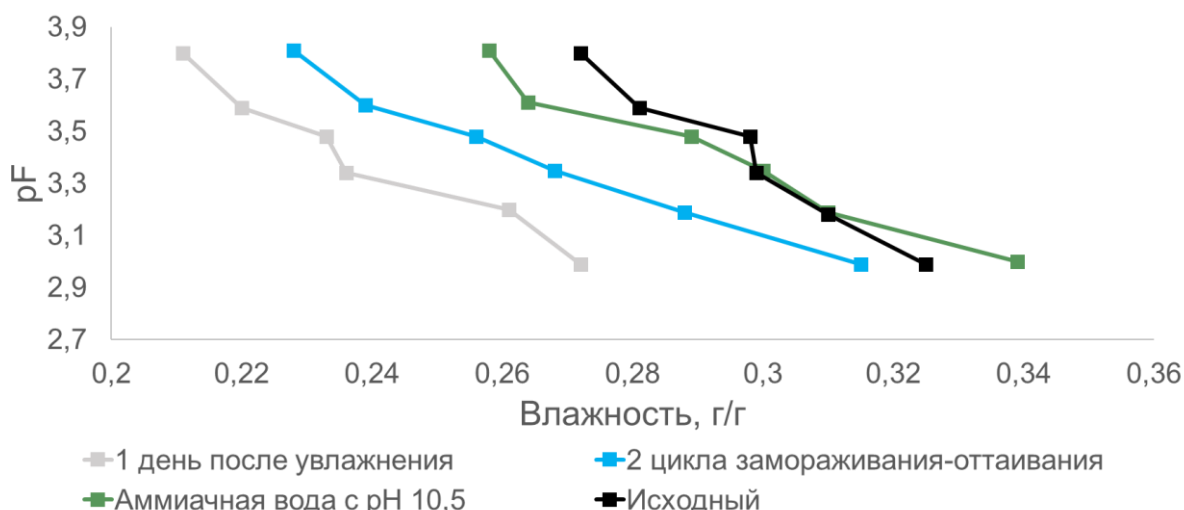


Рис.1. Влияние увлажнения чернозема выщелоченного аммиачной водой на фрагмент основной гидрофизической характеристики.

УДК 631.46

МОНИТОРИНГ ЗДОРОВЬЯ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ ЕЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ

Терехова В.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, [e-mail: vterekhova@gmail.com](mailto:vterekhova@gmail.com)

Функции почвы представляют собой совокупность почвенных процессов, которые обусловлены взаимодействием химических, физических и биологических свойств почвы. Понятия «здоровье почвы» и «качество почвы» обычно рассматриваются как тождественные или тесно связанные (Bünemann et al., 2018), но они отражают разные аспекты состояния почвы и требуют различных подходов к оценке и мониторингу. В них есть определенные отличия как между статичной оценкой параметров почвы в конкретный момент времени (параметры качества) и динамическим состоянием почвы как живой системы (здоровье почвы).

Здоровье почвы — это способность почвы выполнять свои функции, поддерживать продуктивность, сохранять устойчивость, восстанавливаться после негативных воздействий. Здоровая почва поддерживает продуктивность и здоровье растений, грибов и животных, поддерживает или улучшает качество воды и воздуха, а также обеспечивает основные экосистемные функции (Van den Elsen et al., 2022).

Статичную оценку параметров почвы, ее качества, в конкретный момент времени дают по физическим, химическим или биологическим характеристикам, которые можно измерить и сравнить с установленными нормативами.

В современных программах оценки качества почвы всё большее развитие получают мультидисциплинарные подходы. Одна из таких моделей реализуется в виде методологии Триад - Triad Approach (International Standardization Org., Geneva, 2017), которая интегрирует данные из трех различных областей знаний: (1) химический компонент - химическое определение свойств почвы, концентрации загрязняющих химических веществ; (2) токсикологический компонент - оценка биологической токсичности загрязняющих веществ для живых организмов в модельных лабораторных тест-системах; (3) экологический компонент - оценка воздействия загрязнения на реальную экосистему, включая состояние биоты и биоразнообразие.

Этот подход позволяет проводить диагностику качества почвы, оценку экологического риска локального загрязнения почвы на основе комплексного анализа и оценивать эффективность методов реабилитации нарушенных свойств (стандарт ISO 19204:2017). За последние десятилетия для изучения и количественного определения при мониторинге биологического и физического состояния почвы разработаны и усовершенствованы

немало лабораторных методов анализа. Однако химические методы остаются более доступными. Они широко используются для оценки питательных веществ в почвах, содержании токсичных элементов, на них основываются рекомендации контролирующих органов и управление почвенными ресурсами.

Понимание необходимости более сложного подхода к оценке здоровья почвы проявляется в разработке интегральных индексов, отражающих взаимодействия между абиотическими и биологическими свойствами почвы.

В наших работах проводились комплексные оценки и сравнения разных подходов к характеристике качества почв на основе химических, биоиндикационных и экотоксикологических параметров. В частности, произведенные расчеты наиболее широко применяемых индексов состояния на основе методологии ТРИАД (ИС), интегрального показателя биологического состояния почв (ИПБС), суммарного загрязнения тяжелыми металлами по Сауту (Zc), для почв определенной промышленной зоны, обработанной ремедиантами, позволили установить корреляции между полученными индексами: ИС-ИПБС – 0,994; ИС- Zc – 0,902; ИПБС-Zc – 0,874. Из высоких значений коэффициентов корреляции следует, что все три подхода дают сходную оценку эффективности ремедиантов. Несомненно, это факт придает оптимизм для использования и восприятия таких распространенных экспрессных оценок, разными способами, включая измерение содержания тяжелых металлов (Терехова, 2023). Однако, такое совпадение результатов и столь высокие корреляции вряд ли можно считать общей закономерностью, в других биотопах и при других воздействиях они скорее всего не будут столь близкими по значениям.

Оценки качества почвы и постановки диагноза в системе здравоохранения можно считать аналогичными. И там, и там применяют в конкретный момент обычно два основных подхода: индикацию – описание видимых (индицируемых) признаков организма человека, фиксируют проявившиеся изменения параметров, и тестирование – анализ биоматериалов в лаборатории по метрологически аттестованным методикам, определяющим отклонение биологических показателей от установленной «нормы». В соответствии с методической аналогией, применяемой к исследованию свойств почв, постановка диагноза такой «живой системе», как почва больше соответствует понятию оценки качества почв. Биоиндикация и биотестирование – два классических приема оценки экологического качества природных сред, которые дополняют друг друга, обеспечивают определенную полноту характеристике качества почвы. При этом, основную задачу биоиндикации связывают с оценкой биоразнообразия.

Г.В. Добровольский в своих трудах многократно подчеркивал роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия, отмечал необходимость учета разных параметров состояния живых организмов в характеристике качества биогеоценозов и собственно почв поддерживал лаборатории и специалистов-биологов в их работе по сбору и анализу биоиндикационных данных, по биодиагностике качества почв (Добровольский, 2011, 2013).

Оценка биологического разнообразия и многочисленные технические биоиндикационные индексы *in situ* и оценки образцов почвы *ex situ* по статичным токсикологическим показателям, индексам и концентрациям неполно характеризуют состояние почвы. Важнейшее место в системе оценок экологического здоровья почвы занимают функциональные характеристики.

Выбор индикаторов для оценки здоровья почвы — одна из наиболее сложных экологических проблем. Современные представления о функциях почвы как отражении множества взаимосвязанных почвенных процессов (Bünemann et al., 2018) подчёркивают сложность прямого измерения самих функций. Поскольку непосредственное измерение функций почвы затруднительно, необходимо обосновать выбор измеряемых параметров, анализировать индикаторы, обеспечивающие реализацию почвенных функций, оценить процессы, поддерживающие здоровье почвы.

По разным причинам биологические свойства почвы измеряются реже, чем физические и химические характеристики среды обитания живых организмов. При этом именно структура и функционирование биоты имеют решающее значение для реализации многофункциональности почвы и определения характеристик её здоровья.

Новый взгляд на экологическое качество почвы как на состояние ее здоровья, степень нарушенности, загрязненности дает понимание, что деградированные почвы можно «исцелить». Перед процедурой «исцеления» необходимо поставить как можно более точный диагноз, оценить здоровье почвы, для чего необходимо переходить на новый уровень диагностики здоровья почвы.

Первым шагом в оценке здоровья почвы является определение соответствующих индикаторов, способных фиксировать не только статичное состояние, но непосредственно происходящие процессы. При этом важно учитывать чувствительность индикаторов к изменениям состояния почвы, возможность количественной оценки параметров, комплексный подход к выбору индикаторов и представительность показателей для разных функций почвы.

Необходимо развивать методы оценки почвы, которые позволят более полно учитывать все её функции и характеристики здоровья, включая биологические показатели.

Современные технологические достижения позволяют разрабатывать модели и программы, позволяющие просеивать собранные данные и рассчитанные индексы под конкретные задачи и территории с учетом соответствия основной задаче, пригодности для характеристики почв определенного функционального назначения и возможности технической реализации (Zwetsloot et al., 2022).

Пока же наиболее распространенным подходом к мониторингу здоровья почвы является подход с минимальным набором данных, который часто отдает приоритет осуществимости над функциональной значимостью.

УДК 551.58:631.4

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕАНАЛИЗОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ РОССИИ

Ткаченко М.А., Фомин Д.С.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, usa4eva.m@mail.ru

Климатические параметры являются фундаментальными факторами, определяющими экологические функции почв в биосфере. В соответствии с концепцией Г.В. Добровольского о почве как центральном звене биосферы, взаимодействие почв с атмосферой представляет собой одну из ключевых экологических функций, обеспечивающих устойчивое функционирование биосферных процессов. Точная количественная оценка климатических характеристик критически важна для понимания роли почв в поддержании углеродного и гидрологического циклов, а также для прогнозирования реакции почвенного покрова на изменения климата.

Глобальные климатические реанализы представляют собой наиболее полные и физически согласованные источники метеорологической информации для территорий с редкой наблюдательной сетью. Однако их точность демонстрирует значительную пространственно-временную неоднородность, что требует детальной верификации для корректного применения в почвенно-экологических исследованиях.

Целью исследования является оценка точности ведущих глобальных климатических реанализов для территории России и разработка методологических рекомендаций по их применению в исследованиях экологических функций почв.

Проведена комплексная верификация пяти глобальных реанализов (ERA5, ERA5-Land, MERRA-2, JRA-55, CFSR) относительно данных 521 метеорологической станции, равномерно распределенной по территории России и охватывающей все основные почвенно-климатические зоны страны. Анализ выполнен для 40-летнего периода (1980-

2020 гг.) по ключевым климатическим параметрам: средней суточной температуре воздуха и суточным суммам атмосферных осадков.

Точность реанализов оценивалась с использованием четырех статистических метрик: систематического смещения, среднеквадратичной ошибки, средней абсолютной ошибки и коэффициента детерминации. Для интегральной оценки разработан композитный индикатор точности, объединяющий нормализованные метрики. Анализ проводился отдельно для зимнего (ноябрь-апрель) и летнего (май-октябрь) периодов для выявления сезонных особенностей точности воспроизведения климатических параметров.

Все реанализы демонстрируют высокую точность воспроизведения температуры воздуха с коэффициентами детерминации от 0.94 до 0.98. Наивысшую точность показывает ERA5-Land (среднеквадратичная ошибка 1.573°C, коэффициент детерминации 0.98), за ним следует ERA5 (1.975°C, 0.97). Остальные продукты характеризуются более высокими ошибками: JRA-55 (2.627°C), CFSR (2.769°C) и MERRA-2 (3.373°C).

Выявлена выраженная сезонная дифференциация систематических ошибок. В зимний период JRA-55 и CFSR демонстрируют положительное смещение (+0.221°C и +0.132°C соответственно), в то время как ERA5 и ERA5-Land показывают близкие к нейтральным значения. Летом все реанализы характеризуются тенденцией к занижению температуры, с наименьшими отклонениями у ERA5-Land (-0.104°C) и ERA5 (-0.111°C).

Точность воспроизведения осадков существенно ниже по сравнению с температурой, с коэффициентами детерминации от 0.37 до 0.56. ERA5-Land демонстрирует наилучшие характеристики (коэффициент детерминации 0.56, нулевое систематическое смещение), за ним следует ERA5 (0.53). Все реанализы характеризуются систематическим занижением интенсивных осадков и завышением слабых, что особенно выражено для конвективных осадков летнего периода.

Точность реанализов демонстрирует выраженную зависимость от орографических условий и типа подстилающей поверхности. Максимальные ошибки характерны для горных районов, где композитный индикатор точности увеличивается в 2-3 раза по сравнению с равнинными территориями. Наблюдается прогрессивное снижение точности при движении с запада на восток, что связано с континентальностью климата и плотностью наблюдательной сети.

Для исследований экологических функций почв на территории России рекомендуется использование ERA5-Land, обеспечивающего наивысшую точность воспроизведения как температурного режима, так и режима осадков. ERA5 может служить надежной альтернативой, демонстрируя стабильно высокие показатели точности при меньших вычислительных требованиях.

При использовании реанализов для моделирования почвенных процессов необходимо учитывать: систематическое занижение экстремальных температур и интенсивных осадков; сезонную специфику систематических ошибок; повышенную неопределенность в горных районах и восточных регионах России.

Результаты исследования обеспечивают методологическую основу для выбора климатических данных в количественных исследованиях экологических функций почв, способствуя развитию идей Г.В. Добровольского о роли почв как интегрального компонента биосферы. Разработанная методология может быть адаптирована для других регионов мира, что расширяет возможности глобального мониторинга взаимодействия почв и климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2024-545 от 24 апреля 2024 года).

УДК 579.266+574.45

ВЛИЯНИЕ ГНЕЗД МУРАВЬЕВ *LASIUS NIGER* НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ПОЧВ Г. МОСКВЫ

Уткин Р.Р., Горленко М.В., Костина Н.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: rusl.ejow@yandex.ru

Черный садовый муравей (*Lasius niger*) является доминирующим и экологически пластичным видом в урбанизированных ландшафтах, включая территорию г.Москвы. Как экосистемные инженеры, муравьи способны существенно влиять на физико-химические и биологические свойства почв через перекапывание почвенного материала, аккумуляцию органического вещества и формирование специфических условий в гнездах. Однако количественная оценка направленности и сезонной динамики этого влияния на ключевые процессы трансформации азота и углерода, а также на структуру и функциональную активность микробных сообществ городских почв остается недостаточно изученной. Актуальность работы обусловлена необходимостью оценки роли *L. niger* в поддержании устойчивости почвенных экосистем в условиях интенсивной антропогенной нагрузки. Целью работы являлась оценка влияния гнезд муравья *Lasius niger* на биологическую активность и функциональное разнообразие микробных сообществ городских почв Москвы в течение вегетационного периода. Среди задач были: оценка активности процессов микробной трансформации азота (азотфиксация, денитрификация) и углерода (эмиссия CO₂ и CH₄) в образцах из гнезд муравьев и прилегающих почв, определение общей численности и структуры биомассы микроорганизмов (бактерии, грибы), анализ функционального разнообразия микробных сообществ и статистический анализ полученных данных. Исследования проводились в 2023-2024 гг. на территории г.Москвы с разным уровнем антропогенной нагрузки: от рекреационных зон (Лосиный остров, Малый и Большой газоны МГУ) до сильно трансформированных территорий (возле станции Московского центрального кольца – МЦК «Измайлово», м. «Петровско-Разумовская»). Пробы отбирали из гнезд *L. niger* и с расстояний 10 см и 100 см (контроль) от муравейника на глубинах 0-5 см и 5-10 см. Отобранные образцы изучались методами газовой хроматографии (определение актуальной и потенциальной активности азотфиксации, денитрификации, эмиссии CO₂ и CH₄); прямой люминесцентной микроскопии (учет общей численности бактерий, длины грибного мицелия и количества спор); оценки функционального разнообразия микробных сообществ по спектрам потребления субстратов (мультисубстратное тестирование – МСТ); а также химического и статистического анализа. В результате исследования выявлено множество закономерностей, среди которых можно выделить сезонную динамику активности микробиологических процессов. Азотфиксация в гнездах была выше, чем в контроле, в середине и конце вегетационного периода (июль, сентябрь), что указывает на возможное накопление азота в муравейниках. Наиболее высокая активность зафиксирована на сильно нарушенной территории (МЦК «Измайлово»), что связано с дефицитом азота и благоприятными условиями в гнезде. Активность денитрификации и эмиссии метана, в свою очередь, сильно зависела от влажности почвы, достигая пиковых значений в сентябре. В гнездах муравьев активность этих процессов часто имела более выровненные показатели по сравнению с контрольной почвой. Эмиссия CO₂ в гнездах была выше, чем в контроле, что согласуется с данными о снижении содержания гумуса в гнездах и свидетельствует об интенсивной минерализации органического вещества. Изучение структуры микробной биомассы в этих образцах показало, что биомасса бактерий в поверхностных слоях гнезд (0-5 см) в большинстве случаев превышала таковую в контрольной почве, особенно в мае и июле. Грибная биомасса характеризовалась значительным преобладанием спор над мицелием (до 95% от общей биомассы грибов). В гнездах к концу вегетационного периода достоверно уменьшалась длина мицелия и увеличивалось количество спор. Также микробные сообщества гнезд в условиях умеренной антропогенной нагрузки, согласно методу МСТ, часто характеризовались большей устойчивостью (более низкие значения коэффициента стабильности d) и функциональной активностью по сравнению с контрольными почвами. Кластерный анализ выявил группировку образцов преимущественно по типу местообитания, а также

сезону отбора. Анализ методом главных компонент (PCA – Principal Component Analysis) продемонстрировал четкое разделение точек отбора по уровню антропогенной нагрузки (Рис.). Образцы с территорий пустырей (Ломоносовский и Шуваловский корпуса МГУ) и рекреационных газонов (Малый и Большой газоны МГУ) образовали отдельные кластеры. При этом образцы из муравейников внутри каждой группы демонстрировали большее сходство друг с другом, чем контрольные образцы с тех же территорий. Это указывает на нивелирующее влияние гнезд *L. niger* на вариабельность почвенных свойств, делая микробные сообщества и связанные с ними процессы более гомогенными и предсказуемыми по сравнению с окружающей почвой, свойства которой сильнее подвержены локальным колебаниям факторов среды. Можно заметить общую тенденцию разделения точек на отдельные группы по локациям отбора с разным уровнем экологического стресса.

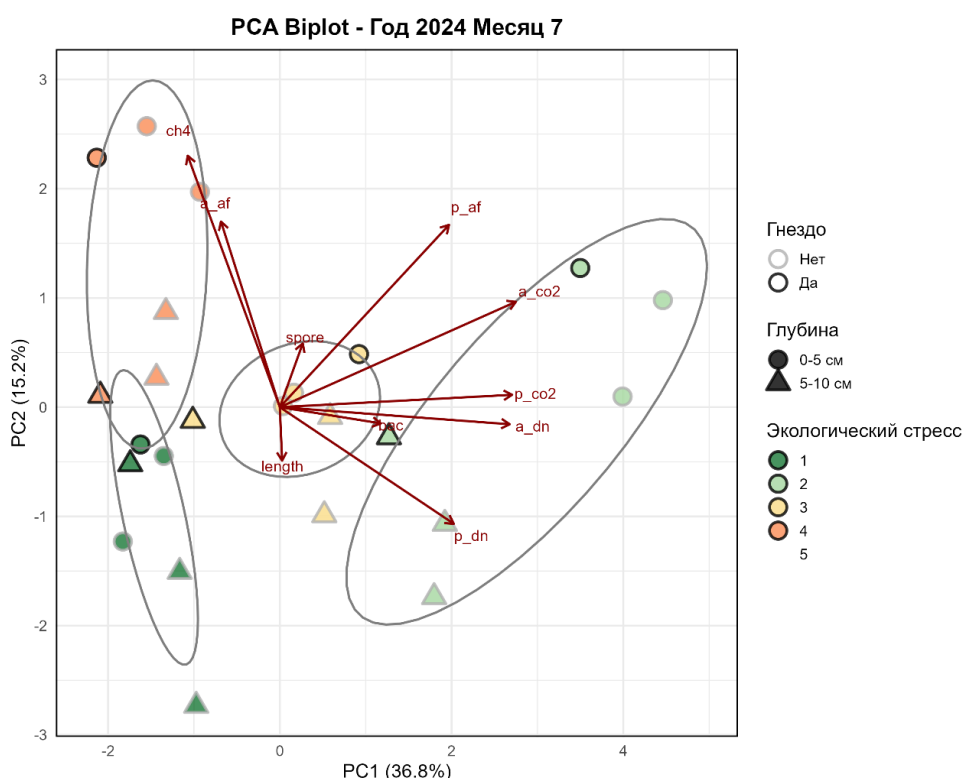


Рисунок. Результаты анализа методом главных компонент (PCA) образцов, отобранных 07.2024 г.

Статистическая обработка полученных данных методом случайного леса подтвердила, что наличие муравейника является одним из ключевых факторов, влияющих на активность процессов трансформации азота и углерода. Наибольшую прогностическую важность имели переменные «Локация» и «Расстояние от муравейника». Метод Краскела-Уоллиса показал статистически значимое влияние локации отбора проб на большинство измеряемых показателей, в то время как влияние глубины отбора было менее выраженным. Таким образом, можно сделать вывод, что гнезда *Lasius niger* выступают центрами аккумуляции органического вещества и оказывают значительное влияние на биологическую активность почв г.Москвы, особенно в середине и конце вегетационного периода. Это выражается в стимуляции азотфиксации и эмиссии CO₂, а также в выравнивании активности денитрификации. В гнездах муравьев формируются специфические микробные сообщества с повышенной бактериальной биомассой в поверхностном слое и измененной структурой грибной биомассы (преобладание спор). Микробные сообщества муравейников в условиях умеренной антропогенной нагрузки характеризуются большей метаболической активностью и устойчивостью по сравнению с контрольными почвами. Статистический анализ (PCA, случайный лес) подтвердил, что

наличие муравейника является значимым фактором, снижающим вариабельность свойств почвы и формирующим более стабильные условия для почвенных микробных сообществ.

УДК 631.46

ДИНАМИКА РАЗНООБРАЗИЯ МИКРОМИЦЕТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ПОЧВУ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

Федосеева Е.Н., Сергеева Ю.Д., Якименко О.С., Терехова В.А.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Для восстановления загрязненных почв в качестве почвоулучшителей применяют полимерные препараты синтетического и природного происхождения. Они способствуют улучшению физических свойств и предотвращению ветровой эрозии, связыванию токсикантов. Их влияние на структурную и функциональную активность почвенной биоты изучено не в полной мере.

Цель работы - изучение воздействия полимерных ремедиантов (ПР) - ГИПАНа и его бинарной композиции с гуматом калия (ГК), на функциональные и структурные характеристики микробиома агродерново-подзолистой почвы при разных уровнях полиметаллического загрязнения. Почву загрязняли комплексом солей тяжелых металлов (ТМ) в дозах, равных 2, 4, 6 ОДК катионов Cd, Zn, Cu, Pb. По истечении 7 суток вносили ПР в виде растворов: ГИПАН и ГК совместно и в отдельности (0,2 % с.в.).

Наряду с функциональными особенностями почв после применения ПР исследовали метагеномный анализ структуры грибных сообществ (альфа- и бета-разнообразия) при наибольшем уровне загрязнения - 6 ОДК).

Метагеномный анализ микробиоты показал, что ПР повышают альфа-разнообразие и формируют новое сообщество микромицетов, отличное от загрязненной почвы.

По способности поддерживать метаболическую устойчивость микробного сообщества и восстановлению уровня биоразнообразия микромицетов при высоком уровне загрязнения ТМ установлены преимущества композиции полимерных ремедиантов с включением гуминового препарата. Установлено, что ПР оказывают положительный эффект на почвенный микробиом загрязненной ТМ почвы, снижая микробный метаболический коэффициент до допустимого уровня. При 2 и 4 ОДК ТМ эффективнее был ГИПАН, при 6 ОДК композитный препарат.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ КОЛЛОИДНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОЧВ НА ВЛАЖНОСТЬ РАЗРЫВА КАПИЛЛЯРОВ И ВОДОУДЕРЖИВАНИЕ

Федотов Г.Н., Горепекин И.В., Сухарев А.И.

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

Почвенными коллоидами в российском почвоведении считаются частицы размером менее 0,1 мкм. В международной литературе коллоидная составляющая почв принимается равной 1 мкм, что соответствует фракции ила в российской классификации почв по гранулометрическому составу.

Роль почвенных коллоидов, как правило, рассматривают в контексте миграционной способности загрязняющих веществ, содержания и сохранения органического углерода и питательных веществ, а также обеспечения структурной устойчивости почв.

Существует ряд исследований, показывающих влияние почвенных коллоидов на водоудерживание и фильтрационную способность почв. Так, например, известно, что водоудерживание в первую очередь связано с гранулометрическим составом почв: чем выше содержание тонких фракций, тем лучше почва удерживает воду. При этом коэффициент фильтрации в почвенных горизонтах снижается с увеличением содержания

ила, а на скорость фильтрации при этом влияют начальные условия увлажнения. Наибольшая фильтрация характерна для значений в диапазоне гидрологических констант от полной до наименьшей влагоемкости и снижается при достижении влажности разрыва капилляров (ВРК). Снижение коэффициента фильтрации в почвах, связанное со снижением скорости движения воды по образцу, является одним из главных индикаторов достижения константы ВРК.

Объяснение механизма ВРК в российском почвоведении базируется на представлениях А.А. Роде (1965) и И.И. Судницына (1979), которые отмечали снижение подвижности воды в капиллярах размером менее 10 мкм. По их мнению, этот факт обусловлен образованием малоподвижной воды за счет взаимодействия жидкой воды с твердой поверхностью.

Однако исследователями показано, что только 2-3 слоя воды полностью теряют подвижность и в слое до 10 нм меняются свойства воды, в частности её вязкость.

Противоречия в объяснении механизма ВРК свидетельствуют о необходимости его исследования.

Целью работы являлось уточнение механизма стабилизации воды твердой фазой почв при влажности разрыва капилляров с позиции коллоидной составляющей почв.

Объекты исследования

В работе использовали образцы гумусово-аккумулятивных горизонтов почв зонального ряда: 1. Дерново-подзолистую (Московская область, Дмитровский район, после картофеля)

2. Дерново-подзолистую (Московская область, Филимонковский район, после озимой пшеницы сорт Эритроспермум 361/20)

3. Дерново-подзолистую (Московская область, Филимонковский район, после озимой пшеницы сорт Лютеценс 982/20)

4. Серую лесную (Тульская область, лес, 2023 год отбора)

5. Серую лесную (Московская область)

6. Серую лесную (Тульская область, лес, 2025 год отбора)

7. Чернозем выщелоченный (Липецкая область, залежь)

8. Чернозем выщелоченный (Орловская область, залежь)

9. Чернозем типичный (Курская область)

10. Каштановую почву (Волгоградская область, залежь)

Определение основной гидрофизической характеристики почв проводили методом равновесного центрифугирования. Гидрологическую константу влажность разрыва капилляров определяли методом секущих Воронина по точке пересечения кривой ОГХ с секущей определяемой формулой: $rF_{MMB} = 2,17 + 3W$, где ММВ – максимальная молекулярная влагоемкость, а W – влажность почв.

Выделение гелевой фракции из почв

Цель эксперимента – отделение минеральных неколлоидных частиц от гелей на основе их разного удельного веса. 10 г воздушно-сухих почв помещали в центрифужные пробирки на 50 мл. Для ослабления связей между коллоидными частицами гелей и неколлоидными минеральными частицами, на поверхности которых и между которыми находятся гели, в пробирки к образцам почвы добавляли по 30 г 0,2 н раствора гидроксида аммония, который обеспечивает возникновение отрицательного заряда на поверхностях большинства минералов и органического вещества почв. После этого суспензию почвы в гидроксида аммония 60 с обрабатывали ультразвуком, внося волновод в пробирку.

Использовали ультразвуковой диспергатор МОД МЭФ 91.1 (Россия). Интенсивность УЗ воздействия до 250 Вт/см² при частоте 22 кГц и амплитуде 45 мкм. Затем на центрифуге Eppendorf 5804 с ротором А-4-44 в пробирках на 50 мл осаждали минеральные неколлоидные частицы при 1000 об/мин в течение 5 минут. В результате на дне пробирки оседали минеральные частицы, над которым находилась суспензия гелей в коллоидном растворе, характеризовавшимся наличием конуса Тиндаля.

Порцию центрифугата использовали для добавления к почве для определения влияния ее внесения на водоудерживание или для определения содержания гелей в почве высушивали досуха на песчаной бане с досушкой в термостате при 105°C., затем сухой остаток взвешивали.

Результаты исследования

На первом этапе исследования было проверено влияние пленочных форм воды на определяемую влажность разрыва капилляров. В основе эксперимента лежало установленное Б.В. Дерягиным с сотрудниками (1987) положение о том, что пленки воды без примесей не могут образовываться, если:

- Температура исследуемого объекта превышает 70-75°C.
- Содержание солей в растворе больше 0,01 н.
- Объекты гидрофобизованы.

В почвах многие частицы гидрофобизованы, поэтому существование пленок с представленных выше позиций – маловероятно, но добавление соли должно полностью исключать существование воды в виде пленок. Поэтому значения ВРК для почв с добавлением дистиллированной воды и раствора соли должны отличаться. Однако полученные результаты свидетельствуют, что введение в почву раствора 1 н хлорида калия, то есть при концентрации на 2 порядка больше пороговой, не оказывает значимого влияния на величину влажности разрыва капилляров и величину водоудерживания серой лесной почвы в интервале потенциала почвенной влаги рF от 2,5 до 3,5.

Для проверки влияния почвенных гелей на водоудерживающую способность почв мы выделили суспензию геля из чернозема выщелоченного и добавили её к дерново-подзолистой почве по следующей схеме. Мы извлекли фракцию гелей из образцов чернозема в соответствии с описанной выше методикой. Содержание выделенной фракции составило 68 г в пересчёте на 1 л суспензии. Выделенную суспензию добавили к дерново-подзолистой почве, в которой содержание гелей составляло 10% от массы почвы, и тщательно ее перемешали. Суспензию внесли в почву до достижения влажности 25%. Содержание гелей при этом увеличилось на 17% (т.е. суммарно стало 27% гелей). После этого почвенные образцы оставили на 3 дня для прихода к равновесию. Подобным образом добавки гелей к образцам дерново-подзолистой почвы вносили до 3 раз. Для полученных образцов методом равновесного центрифугирования определяли ОГХ.

Сравнение водоудерживающей способности проводили для вариантов:

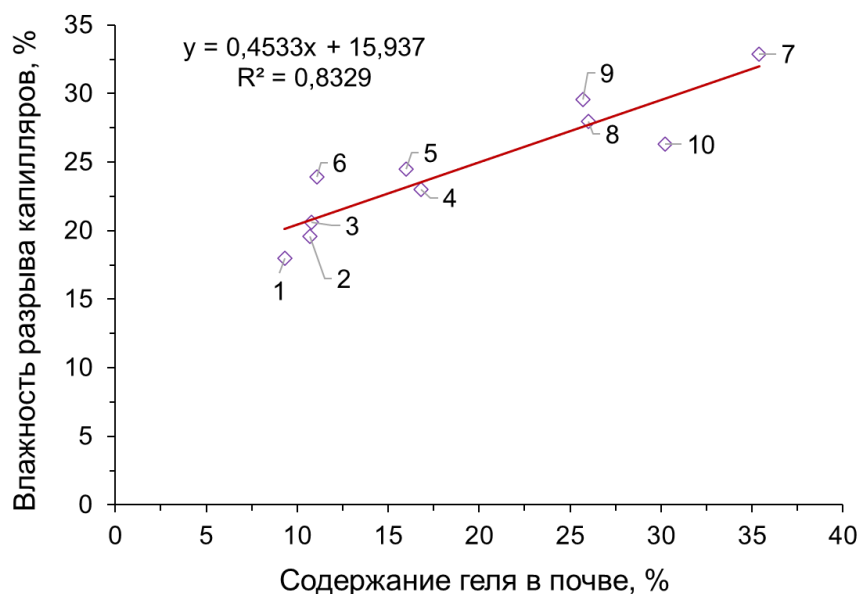
1. Высушенная до воздушно-сухого состояния и увлажненная дистиллированной водой почва;
2. Почва, высушенная до воздушно-сухого состояния и увлажненная 0,2 н раствором гидроксида аммония (растворитель при выделении гелей);
3. Почва, высушенная до воздушно-сухого состояния и увлажненная 0,2н раствором гидроксида аммония, содержащего илистую фракцию чернозема выщелоченного.
4. Почва, дважды высушенная до воздушно-сухого состояния и увлажненная 0,2н раствором гидроксида аммония, содержащего илистую фракцию чернозема выщелоченного.
5. Почва, трижды высушенная до воздушно-сухого состояния и увлажненная 0,2н раствором гидроксида аммония, содержащего илистую фракцию чернозема выщелоченного.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что водоудерживающая способность возрастает в ряду «аммиачная вода – однократное внесение гелей – двухкратное внесение гелей». Значимые отличия по водоудерживанию между двухкратным и трехкратным внесением гелей в почву отсутствуют.

Для проверки влияния гелей на водоудерживающую способность провели дополнительные эксперименты. Первый заключался в проверке влияния высушивания на величину водоудерживания. Проведенная проверка показала, что высушивание снижает водоудерживающую способность серой лесной почвы и чернозема выщелоченного.

Второй эксперимент заключался в проверке наличия связей между содержанием в почвах гелей и величиной влажности разрыва капилляров почв. Согласно результатам экспериментов, увеличение содержания в почвах гелей повышает влажность разрыва капилляров. Причем зависимость аппроксимируется линейной функцией с коэффициентом корреляции, превышающим 0,9. Это говорит о том, что содержание в почвах гелей тесно связано с их водоудерживающей способностью.

Таким образом, увеличение количества гелей в почвах повышает ВРК, а снижение объема почвенных гелей уменьшает ВРК. Это говорит о том, что компонентами, которые стабилизируют пленки воды в почвах при ВРК, является коллоидная составляющая почв, организованная в виде связнодисперсных систем – почвенных гелей.



Зависимость влажности разрыва капилляров от содержания в почвах гелей. Номера точек даны в соответствии с разделом «Объекты исследования».

Закключение

1. Обнаружено, что добавление 1 н раствора хлорида калия не влияет на величину влажности разрыва капилляров (ВРК). Такой результат возможен в случае, если пленочные формы воды на поверхностях минералов чем-то стабилизируются.
2. Показано, что внесение почвенных гелей в почву приводит к увеличению ее ВРК.
3. Установлено, что уменьшение объема почвенных гелей приводит к снижению ВРК и водоудерживания.
4. Установлено, что влажность разрыва капилляров зависит от содержания в почвах гелей. Коэффициент корреляции между переменными превышает 0,9.

Исследование выполнено в рамках Программы развития МГУ (проект № 23-Ш07-13 - Мелиорация и охрана почв. Новые подходы с использованием полимерных композиционных материалов.

УДК 631.46

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СКОНСТРУИРОВАННЫХ ПОЧВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРОДОВ СЫКТЫВКАР, МОСКВА И КРАСНОДАР

Филиппов Д.Д.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, danya280500@yandex.ru

Современный этап развития землепользования характеризуется интенсивной урбанизацией, которая приводит к фундаментальным преобразованиям почвенного покрова, нарушению потоков веществ и энергии и формированию урбоэкосистем, принципиально отличающихся от естественных. Ключевым элементом таких систем

являются городские почвы, значительную долю которых составляют конструктороземы – искусственно созданные почвенные тела. Интенсивное антропогенное воздействие в городах приводит к значительной деградации почв и нарушению исполнения ими их ключевых экологических функций, таких как обеспечение плодородия, деструкция органического вещества, газовая функция, поддержание биоразнообразия. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является почвенное конструирование – научно обоснованное проектирование и создание почвенно-грунтовой толщи из природных и синтетических материалов с целью оптимизации почвенных свойств и экологических функций в антропогенных ландшафтах. Однако успешность создания таких конструкций и их долгосрочная устойчивость требуют комплексной оценки, в которой ключевая роль отводится биологическому компоненту.

Микроорганизмы, являясь основой функционирования любой почвы, выступают чувствительным индикатором ее состояния, быстро реагируя на изменения условий среды. Несмотря на существующие отдельные исследования микробиологической активности насыпных почв, комплексная оценка, включающая одновременное изучение скоростей микробной трансформации азота и углерода, а также функционального разнообразия микробных сообществ в искусственных почвах, сформированных в различных природно-климатических условиях, проводилась впервые. Такой комплексный подход позволяет не только оценить текущее состояние конструктороземов, но и прогнозировать их развитие и устойчивость в долгосрочной перспективе, что и определяет научную новизну и практическую значимость данного исследования. Целью работы являлась оценка биологической активности сконструированных почв разного строения в условиях городов Сыктывкар, Москва и Краснодар. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: определить биологическую активность в фоновых почвах и урбаноземах по показателям скорости процессов трансформации азота и углерода; изучить динамику биологической активности в конструктороземах разного строения в течение двух лет их функционирования; провести сравнительный анализ активности микробиологических процессов в конструктороземах с активностью в зональных почвах и урбаноземах; определить параметры функционального разнообразия микробных сообществ исследуемых почв и почвенных конструкций методом мультисубстратного тестирования.

Исследования проводились в период с 2020 по 2023 годы. Объектами служили почвы различного генезиса трех городов: Сыктывкар, Москва и Краснодар. В каждом городе были отобраны образцы почв зонального ряда, городского фона, урбанозема и почвенных конструкций, заложенных на соответствующих территориях в 2020 году. Почвенные конструкции были выполнены в форме цилиндров диаметром 100 см и глубиной 30 см. Были использованы два типа сложения: слоистые и смешанные, сформированные как из местных, так и из привозных (московских) материалов. В Сыктывкаре и Москве в состав конструкций входили верхний слой урбанозема, низинный торф и карьерный песок. В Краснодаре вместо торфа использовался горизонт А парковой почвы.

В почвенных образцах изучали актуальные и потенциальные активности процессов микробной трансформации азота (азотфиксация и денитрификация) и углерода (эмиссия диоксида углерода и метана). Активность азотфиксации определяли ацетиленовым методом, денитрификации – по образованию закиси азота на хроматографе с детектором электронного захвата, эмиссию диоксида углерода – на хроматографе с детектором по теплопроводности, эмиссию метана – на хроматографе с пламенно-ионизационным детектором. Функциональное разнообразие бактериальных сообществ оценивали методом мультисубстратного тестирования (МСТ) с использованием тест-системы «Эко-Лог», содержащей 47 различных субстратов. Статистическую обработку данных проводили в программах RStudio и STATISTICA с использованием непараметрического критерия Вилкоксона для попарного сравнения медиан и метода главных компонент для сравнительного анализа наборов данных.

В результате исследования установлено, что в процессе функционирования конструкторов во всех городах произошло достоверное снижение актуальной активности процессов азотного цикла, вероятно, из-за уменьшения содержания легкодоступного органического вещества. В то же время потенциальная активность азотфиксации в конструкторах Сыктывкара и Москвы была значительно выше, чем в фоновых почвах. Выявлены значимые изменения в активности трансформации углерода: характер изменений эмиссии метана был разнонаправленным, а актуальная эмиссия углекислого газа увеличилась в слое торфа слоистых конструкций. Во всех исследованных городах наблюдалось резкое изменение активности микробных сообществ уже после первого года функционирования конструкторов с последующим возвращением многих показателей к уровню, близкому к исходному, что, с одной стороны, свидетельствует о первоначальной неустойчивости систем, а с другой – о быстрых темпах их педогенной эволюции.

Метод главных компонент показал, что профили слоистых конструкторов характеризуются большей вариабельностью биологической активности по сравнению со смешанными. Анализ функционального разнообразия выявил, что в Сыктывкаре и Москве микробные сообщества конструкторов, особенно смешанного типа, были более метаболически активны и стабильны, чем в фоновых почвах. В Краснодаре, напротив, несмотря на сходства с черноземом по активности трансформации элементов, микробные сообщества в конструкторах были нестабильны и имели низкую метаболическую активность, при этом наиболее активное сообщество было обнаружено в подстилающей почве под конструкциями.

Таким образом, общими тенденциями для конструкторов в разных природно-климатических условиях стали снижение актуальной активности азотного цикла и наибольшая стабильность и эффективность конструкций смешанного типа. На основании полученных данных рекомендуется применение сконструированных почв смешанного типа на территориях Сыктывкара и Москвы для оптимизации микробиологических процессов и снижения газообразных потерь углерода. Использование исследованных типов почвенных конструкций в условиях Краснодара признано нерациональным из-за низкой стабильности формирующихся микробных сообществ. Полученные результаты вносят вклад в развитие теории и практики конструирования почв, предоставляя критерии для выбора оптимальных структур и материалов при создании почвенных конструкций в различных урбанизированных условиях.

УДК 631.4

БАРЬЕРНЫЕ ФУНКЦИИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ПРИ ЛАТЕРАЛЬНОЙ И РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЦЕЗИЯ-137 В ОРЕОЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ ВЫПАДЕНИЙ

Халиуллина К. М., Парамонова Т. А., Иванов М. М., Жерненко А.О., Рябов В.М.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

khaliullina.k5@gmail.com

Спустя десятилетия после аварии на Чернобыльской АЭС, произошедшей в 1986 г., ключевым объектом исследования становятся не столько источники загрязнения, а природные системы, способные их концентрировать, удерживать или, наоборот, транспортировать. В этом контексте аллювиальные почвы речных долин выступают в роли критически важных природных барьеров, во многом определяющих современную и будущую радиологическую обстановку в долинных и речных экосистемах. Цезий-137 (^{137}Cs), являясь одним из основных техногенных радионуклидов аварийных чернобыльских выпадений, после поступления из атмосферы в наземные экосистемы быстро и прочно сорбировался почвенными частицами и в дальнейшем переносился в составе твердого эрозионного стока с возвышенных частей междуречий к областям аккумуляции – подножьям склонов, днищам балок и поймам рек.

По треку восточного чернобыльского следа одним из наиболее радиоактивно загрязненных районов является бассейн реки Плава (приток 1-го порядка реки Упа, 2-го порядка – Оки, 3-го порядка – Волги), располагающийся в пределах Тульской области. На этой территории в настоящее время сохраняется превышение допустимых уровней содержания радиоцезия в почвах водосборного пространства исследуемой территории в 4-7 раз. В этой связи изучение поведения ^{137}Cs в пойменных экосистемах – супераквальной и субаквальной фациях ландшафта – р. Плава остается актуальной задачей.

Цель настоящего исследования – выявить современные особенности накопления ^{137}Cs в аллювиальных пойменных почвах и донных отложениях реки Плава. Районом исследования стал бассейн реки Плава – основной водной артерии Плавского радиоактивного пятна. Для реализации задач исследования в его пределах было организовано 3 ключевых участка. Участок «Плавск» располагался в центре ореола радиоактивного загрязнения (плотность радиоактивного загрязнения почв в 1986 г. оценивалась в диапазоне варьирования 185-555 кБк/м²); участок «Юрьево» был приурочен к границе изолинии 185 кБк/м², краевой участок «Крапивна» – к границе изолинии 37 кБк/м², которая разделяет радиоактивно загрязненную и фоновую территории. При этом ключевые участки Плавск и Юрьево размещались в области среднего течения реки Плава, Крапивна – вблизи ее устья.

Отбор проб аллювиальных пойменных луговых насыщенных почв производился с помощью кольцевого пробоотборника с шагом 10 см до глубины 40 см. Отбор проб донных отложений, прежде всего, корнеобитаемого слоя донных наилок, проводился с помощью цилиндрического пробоотборника в 2-5 м от уреза воды в областях укоренения высших бентосных макрофитов. Для обеспечения репрезентативности получаемых данных пробы почв и донных отложений отбирались в 3-кратной повторности.

Подготовка проб к измерениям проводилась по следующей методике: проба высушивалась в сушильном шкафу при температуре 105°C, растиралась в фарфоровой ступке и просеивалась через сито с диаметром ячейки 1 мм. Удельная активность ^{137}Cs измерялась в геометрии «дента» при помощи сцинтилляционного гамма-спектрометра «Мультирад» с блоком детектирования БДКС-63-01А (Россия) и программы обработки спектров «Прогресс 5.1»; время экспозиции пробы составляло 2700 секунд.

Анализ данных показал, что через ≈ 35 -40 лет после поступления чернобыльских выпадений территория бассейна реки Плава остается радиоактивно загрязненной (табл. 1). Закономерным образом пойменные почвы Плавы в центральной части Плавского радиоактивного пятна, опробованные на ключевых участках Плавск и Юрьево, характеризуются содержанием ^{137}Cs в 1,5 – 1,7 раз превышающим величину удельной активности радионуклида в аллювиальных луговых насыщенных почвах ключевого участка Крапивна, приуроченного к периферии ореола загрязнения.

Таблица 1. Величины удельной активности ^{137}Cs в аллювиальных почвах и донных отложениях Плавского радиоактивного пятна, Бк/кг и запасы, КБк/м²

Ключевой участок	Почвы		Донные отложения
	Бк/кг	кБк/м ²	Бк/кг
Плавск	488 ± 55,6	204,2	200 ± 7,46
Юрьево	453 ± 34,1	163,1	434 ± 8,23
Крапивна	284 ± 12,4	73,6	108 ± 16,5

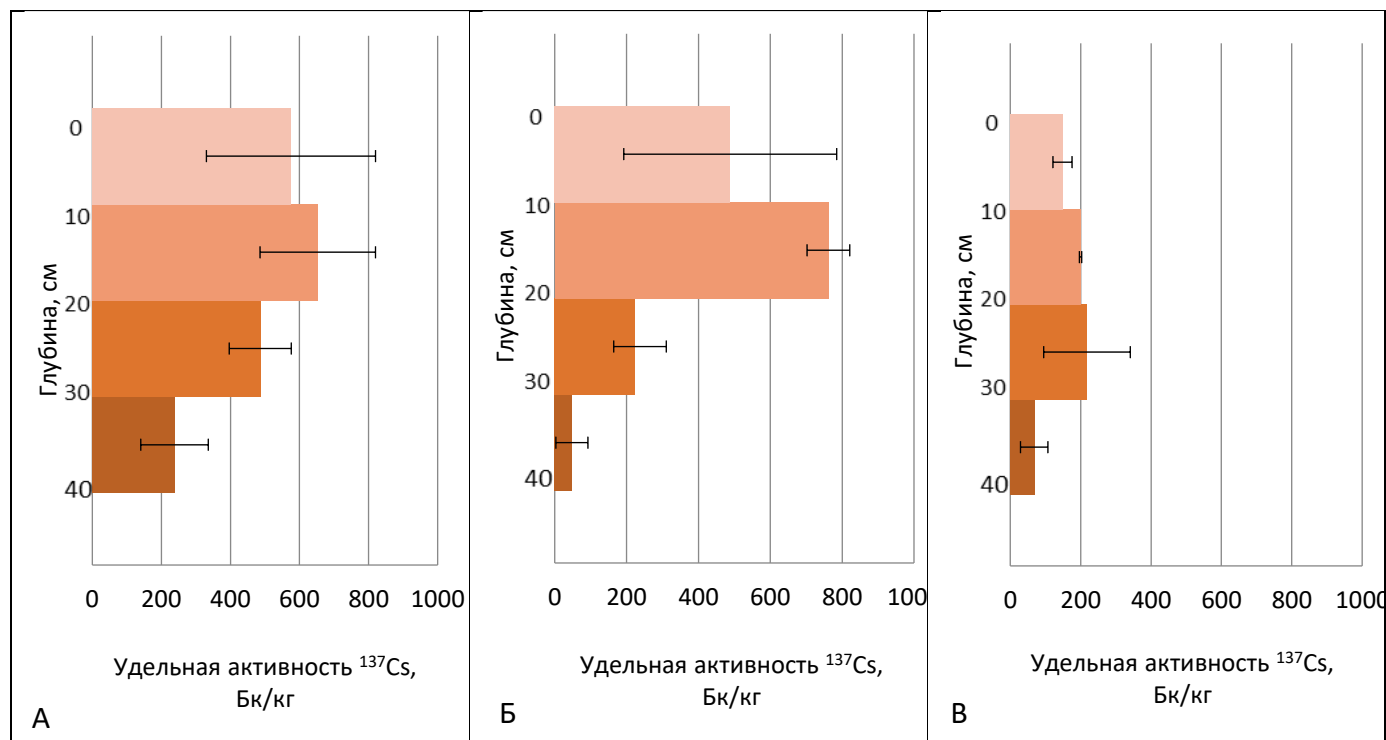
Удельная активность ^{137}Cs в аллювиальных пойменных почвах существенно выше, чем в донных отложениях, что указывает на супераквальные фации ландшафта как на основные области аккумуляции радионуклида, мигрирующего в составе твердого эрозионного стока с площади водосборного пространства. Также ^{137}Cs может дополнительно откладываться

на поверхности аллювиальных почв во время половодий и паводков, причем переотложение наносов, влекомых из более загрязненных областей речного бассейна, приводит к увеличению плотности радиоактивного загрязнения экосистем речных пойм, а при переотложении наносов, источником поступления которых являются менее загрязненные части ореола аккумуляции ^{137}Cs , береговые размывы, либо менее загрязненные, чем почвы, донные отложения, может происходить «разбавление» величин удельной активности радионуклида в верхней части почвенного профиля.

В частности, контрастность уровней загрязнения сопряженных аллювиальных пойменных почв и донных отложений особенно заметна на участке Плавск и нивелируется ниже по течению реки, что, вероятно, связано с постепенным флювиальным сносом ^{137}Cs -содержащих донных отложений вниз по течению. Однако независимо от делювиального или флювиального механизма поступления ^{137}Cs -содержащего мелкозема в поймы аллювиальные почвы выступают как линейные геохимические барьеры на пути латеральной миграции радионуклида в ландшафте.

Кроме того, аллювиальные почвы являются эффективным и высокочувствительным радиальным барьером, удерживающим поступивший радионуклид в поверхностных слоях и/или верхних горизонтах почв, не допуская его быстрого проникновения вниз по профилю или в грунтовые подрусловые воды (рис. 1).

В целом, ^{137}Cs прочно фиксируется глинистыми минералами почв и гидрослюдами, так что становится практически недоступным для дальнейшего выщелачивания атмосферными осадками. Доля водорастворимой фракции соединений ^{137}Cs в аллювиальных луговых насыщенных почвах р. Плева не превышает 0,01%. Максимальные величины удельной активности ^{137}Cs в аллювиальных почвах фиксируются в дерновом и верхней части гумусово-аккумулятивного горизонта до глубины 20 см, массовое проникновение радионуклида – до 30 см, что с учетом темпов аккумуляции пойменных ^{137}Cs -содержащих наносов свидетельствует о стабилизации нижней границы радиоактивно загрязненной толщи. Незначительное проникновение ^{137}Cs вглубь профиля за пределы поверхностного 30-см слоя обусловлено не физико-химическим выщелачиванием, а процессами биогенной и механической миграции. Деятельность почвенной фауны, роющая деятельность млекопитающих, динамика корневых систем растений обеспечивают естественное перемешивание почвенной массы. Таким образом, основной пул радионуклида на всех трех участках аккумулируется в 10-20-см слое, который выполняет роль радиального геохимического барьера с высокой емкостью удержания ^{137}Cs .



А – участок Плавск, Б – участок Юрьево, В – участок Крапивна

Рисунок 1. Вертикальное распределение удельной активности ^{137}Cs по профилю аллювиальных луговых насыщенных почв Плавского радиоактивного пятна

Можно полагать, что в речных экосистемах донные отложения иловатого состава также служат радиальным сорбционным барьером, на котором происходит иммобилизация ^{137}Cs , что препятствует его распространению в растворенном состоянии в составе речных или подрусловых вод.

Таким образом, на настоящий момент – спустя 35-40 лет после чернобыльских выпадения – территория бассейна реки Плава остается радиоактивно загрязненной с кратностью превышения величины плотности поверхностного загрязнения аллювиальных луговых насыщенных почв ^{137}Cs в 4,4-5,5 раз в центральной части ореола Плавского радиоактивного пятна (ключевые участки Плавск и Юрьево) и в 1,9 раз – в его краевой части (ключевой участок Крапивна). При этом радионуклид накапливается более активно в супераквальных фациях по сравнению с субаквальными фациями, что подчеркивает барьерную функцию аллювиальных почв при процессах латеральной миграции в ландшафте, защищающих речную систему от чрезмерного концентрирования радионуклидов в донных отложениях и в водной толще за счет аккумуляции латерального поступления ^{137}Cs с водосборного пространства. В свою очередь, поверхностный 20-30-см слой аллювиальных луговых насыщенных почв р. Плава служит эффективным и емким геохимическим барьером при радиальной миграции ^{137}Cs в сопредельные среды (грунты, грунтовые воды, растения).

УДК [631.445.1](#)

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ПОЙМ ПО АЭРОФОТОСНИМКАМ И КОСМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ

Хуснетдинова Т.И., Балабко П.Н.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва,

e-mail: tamara_iul@mail.ru; balabkopetr@mail.ru

Дешифрирование пойменных ландшафтов по аэрофотоснимкам и космическим материалам является важным инструментом для изучения и оценки состояния растительного и почвенного покровов. Оно позволяет получать объективную информацию о состоянии лесной и луговой растительности, структуре почвенного покрова, что позволяет

ускоренно и более точно проводить картографирование и мониторинг лесных, луговых экосистем и агроэкосистем с целью их рационального землепользования и охраны окружающей среды.

По определению В. И. Шрага, пойма реки — это часть речной долины, которая периодически заливается на более или менее длительное время полыми водами реки. Поймы покрыты своим специфическим почвенно-растительным покровом (пойменные почвы в большинстве своём очень плодородны), имеют свои, отличающиеся от зональных, пойменные ландшафты, обладают своими биологическими ресурсами и биологическим разнообразием и представляют собой важнейший элемент природы, очень чувствительный как к естественным гидроклиматическим изменениям, так и к антропогенным воздействиям (Чалов, 2006).

Пойменные геосистемы распространены во всех ландшафтно-климатических поясах, зонах и регионах. Они занимают более 4 % поверхности суши. Особенно большие площади поймы охватывают на низменных равнинах, в том числе на Западно Сибирской равнине. Ширина поймы Оби достигает на некоторых участках 50 км и более.

Е.В. Шанцер дал полную картину формирования рельефа пойм, а также строения слагающих их аллювиальных толщ, их литологии и текстуры.

Пойменным ландшафтам присущи черты наибольшей динамичности и молодости по сравнению с любыми водораздельными ландшафтами. Структура пойменного ландшафта в данный момент времени – это результат развития, динамики и функционирования его в настоящий и предыдущие годы.

Согласно классификации, разработанной академиком РАН Г. В. Добровольским в прирусловой части поймы под лесной растительностью формируются аллювиальные дерновые слоистые почвы, в центральной пойме под разнотранно- злаковой растительностью господствуют луговые и дерново-луговые почвы, в притеррасной пойме под различными видами осок и болотным разнотравьем формируются аллювиальные лугово-болотные и болотные почвы.

Своим происхождением пойма обязана эрозионно-аккумулятивной деятельности речного потока. Выделяются низкий и высокий уровни поймы, которые хорошо выделяются по аэрофотоснимкам. Для высокой поймы характерно чередование высоких грив и узких понижений, занятые разнотравно-злаковыми лугами. В половодье гривы затапливаются редко. Для низкой поймы характерно чередование обширных понижений, часто заболоченных и плоских повышений с осоково-вейниковой растительностью.

Информация о растительности играет немаловажную роль в исследованиях пойменных комплексов. Совместное использование этих материалов позволяет с большей уверенностью определять границы высокой поймы.

Для дешифрирования речного русла, а также для получения надежных сведений о длине водотока (или исследуемого участка), его извилистости, разветвленности, наличии в русле островов и других русловых образований (осередков, пляжей, кос и т.д.), наиболее информативными являются качественные снимки, полученные в летне-осеннюю межень.

Песчаный русловый аллювий в этот период обнажен и изображается на снимках сравнительно однородным светлым относительно водной поверхности тоном. Речная сеть (крупные и средние реки) легко дешифрируется на снимках в синтезе SWIR -NIR -RED.

При этом особенностью равнинных рек является их меандрирование и большое количество старичных озер в пойме. Особую сложность при гидрологическом дешифрировании представляет процесс распознавания малых рек. Например, в залесенных районах кроны деревьев могут полностью скрывать русла небольших рек, шириной не более 5 - 6 м, в связи с чем, их выявление нередко затруднено даже на крупномасштабных аэрофотоснимках.

Дешифрирование границ водосбора рекомендуется проводить по космическим черно-белым снимкам, выполненным в зоне от 0,5 до 0,7 мкм, или по снимкам, полученным путем синтеза многозональных снимков.

При дешифрировании поймы прежде всего устанавливаются ее границы. Граница поймы реки на космических снимках устанавливается как линия, разделяющая площади со сравнительно однородным тоном изображения, соответствующим дну долины, и площади, имеющие вид пестрой мозаики, соответствующие склонам долины и прилегающим участкам водоразделов. Граница затопления дешифрируется на пойме характерной влаголюбивой, сочной и густой растительностью, изображающейся более темным тоном. Берега, не подвергающиеся затоплению, обычно изобилуют суходольной растительностью или лесом, дающим более светлый тон изображения. Микрорельеф поймы отчетливо выделяется на аэроснимках белыми пятнами обнаженных грунтов. Изменение направления русла, вызываемое многолетней деятельностью реки, оставляет свой след на поверхности земли в виде староречий. Эти следы старых русел, действующих и отмерших, создают специфическую особенность пойменного рельефа, облегчающую ее дешифрирование. Береговой вал обычно дешифрируется на аэроснимках как освещенной полоской, расположенной у бровки берега. Высоту крутых и отвесных берегов можно определить по характеру и длине отбрасываемой ими тени. Подмываемые берега, обычно глинистые, имеют мягкую, выпуклой формы бровку с небольшой крутизной вблизи уреза воды. Глинистая почва характеризуется густой кустарниковой растительностью.

Очень важно при гидрографическом дешифрировании является определение характера глубин по аэроснимкам. Основным демаскирующим признаком в этом случае является тон изображения. Более глубокие места водоема имеют более темный тон. Мелкие места реки (отмели, косы, перекаты, побочни и др.) имеют более светлый тон.

Мели демаскируются более светлыми тонами. Если на мелях находятся камни, то они также будут резко выделяться на фоне песка контуром более темного цвета. Пороги на аэроснимках – определяются по светлому тону вспененной поверхности воды.

Броды на реках опознаются по дорогам и тропинкам, подходящим к урезу воды с обоих берегов. Броды обычно проходят по участкам с наименьшими глубинами, которые приурочиваются к перекатам в отличие от лодочных и паромных переправ, которые устраиваются на плесовых участках.

Берега, образованные скалистыми породами, всегда крутые, изрезанные и имеют бедный растительный покров. У подножья таких берегов часто отмечаются нагромождения породы вследствие разрушения склонов. Песчаный берег имеет белый тон. Сенокосные участки поймы дешифрируются по прямоугольному строению и светлому тону.

Заболоченные участки на снимках имеют темно-серый цвет, лесная растительность имеет крупный крап, а кустарники – мелкий крап. Само русла реки на снимках дешифрируются в виде извилистой ленты неоднородной по ширине с резкой очерченностью границ фотоизображения темной или очень темной окраски. Прирусловые песчаные отмели на снимках имеют белый цвет. Основным дешифровочным признаком пойм являются более темные и более светлые кривые полосы меандрирования рек, так называемые веера блуждания. Такие веера образуются вследствие перемещения русла в плане и представляют собой чередование валов и понижений на поверхности поймы. Изогнутость дугообразных полос бывает тем большей, чем интенсивнее меандрирование. Степень изогнутости и частота полос, составляющих изображение веера перемещения, может свидетельствовать об интенсивности русловых процессов. Изучение рисунка веера перемещения позволяет проследить стадии развития русла реки, восстановить по полосам веера прежние его положения.

Характерные отличительные признаки на снимках имеют также устья рек. Известны два основных типа устьевых областей – это дельта (устье в виде низменной равнины, сложенной речными наносами и прорезанной многочисленными протоками - ветвящимися руслами) и эстуарий (воронкообразный залив в устье реки, глубоко вдающийся в долину). Иногда они могут быть расположены последовательно.

Важной практической задачей является выделение по спутниковым снимкам зон затопления при прохождении половодий и паводков. Для автоматического определения зон затопления используются методы, основанные на разности «водных индексов» (например, mNDWI). Разность площади водной поверхности вычисляется по двум снимкам, полученным в период низкого и высокого уровня воды. Для визуального дешифрирования зон затопления наиболее подходящим является синтез каналов SWIR - NIR -RED, в котором водная поверхность имеет темно синий, почти черный цвет и резко отличается от других видов поверхностей

По аэрофотоснимкам, согласно разработкам Е.В. Шанцера, выделяются три пояса меандрирования: современный, зрелый и старый, а также возможно выделить тип поймы. Тип поймы – это крупный отрезок пойменной террасы, характеризующийся одинаковым геоморфологическим строением, выделяющийся на основании общего происхождения, синхронности формирования, аналогичности характера поемности и аллювиальности, определенной структурой почвенного покрова, однотипным землепользованием. Разделение пойм, предложенное В.Р. Вильямсом, на три части: приустьевую, центральную и притеррасную не исчерпывает всего их разнообразия, поскольку имеют место неполноразвитые, усеченные и островные поймы. Г.В. Добровольский с соавторами на примере поймы среднего течения р. Оби предложил выделить пять типов поймы: островной, приустьевой, сегментно-гивистый, равнинный и пониженно-болотный. Важным этапом в развитии учения о типах пойм стали почвенно-геоботанические исследования поймы Средней Оби, проводившиеся в 1968-1988 гг. коллективом сотрудников, аспирантов и студентов кафедры географии почв МГУ под руководством Г.В. Добровольского. Разработанная ими типология поймы реки Оби позволила вскрыть закономерности формирования структуры почвенного покрова и создать почвенные и геоботанические карты масштаба 1:100 000 на отрезки Обской поймы в пределах Кожевниковского, Молчановского, Кривошеинского, Колпашевского и Александровского районов Томской области. С помощью аэрофотоснимков в камеральных условиях были выделены типы поймы, а по дешифровочным признакам определены основные типы и подтипы почв. Составленные почвенные карты в камеральных условиях уточнялись в поле.

Т.А. Трифионовой предложена концепция типизации пойменных земель на основе дистанционного дешифрирования. Эта система рассматривает рельеф в качестве главного критерия. По форме и рисунку изображения выделяются группы типов пойм, затем по морфометрическим характеристикам рельефа – типы, подтипы, виды, подвиды пойм. Было установлено, что типы поймы должны быть выделены на основании преобладающих превышений местности относительно меженного уровня воды следующим образом: пониженный (преобладающие повышения в пределах 100 см), повышенный (250–300 см), переходный тип (100–250 см).

Исследуя почвы долины реки Оки в пределах Московской и Рязанской областей, Н.А. Аветов и П.Н. Балабко предложили выделять пойменный массив в пределах типа поймы. Пойменный массив – это наиболее крупная таксономическая единица, которая выделяется в пределах типа поймы и характеризуется одинаковым для соответствующих уровней режимом поемности и аллювиальности, одинаковой степенью дренированности, специфическим рисунком рельефа, определенной структурой почвенного и растительного покрова, однотипным землепользованием. Как правило, пойменные массивы ограничиваются водоемами гидросети (протоки, старицы) или тыловыми швами причленения. Например, в сегментно-гивистом типе поймы по специфическим формам рельефа на аэрофотоснимках можно выделить сегментные, петлеобразные, гребневидные массивы, а по составу почвенного покрова и степени гидроморфизма почв выделить слабогидроморфные (дерновые и дерново-луговые почвы – 50 %), среднегидроморфные с преобладанием почв лугового типа, сильногидроморфные массивы с преобладанием в составе почвенного покрова аллювиальных луговых профилейно-глеевых, лугово-

болотных и болотных почв. Концепция пойменного массива может быть использована при создании типологических карт-матриц для картографирования аллювиальных почв, а также при разработке схем мелиорации и дифференцированного использования пойменных земель под пашню, сенокос и пастбище.

УДК 631.4:504.5

РАДИОНУКЛИДЫ И ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ОКРУГА г. МОСКВЫ

О. Б. Цветнова¹, С.Р. Маркова¹, Д.Н. Липатов¹, А. И. Щеглов¹

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: tvetnova25@yandex.ru

Современные проблемы больших городов довольно разнообразны: от изменений состояния атмосферы – до проблем, связанных с состоянием почвенного покрова. Изучение уровней содержания тяжелых металлов (ТМ) и радионуклидов занимает важное место в приоритетных разделах современного мониторинга территорий мегаполисов. В Москве расположено много производств, работающих с источниками ионизирующего излучения. В частности, в Щукинском районе города расположен Национальный исследовательский центр (НИЦ) Курчатовского института, который входит в перечень особо радиационно-опасных производств и объектов. Кроме того, в районе функционирует много промышленных предприятий, занимающихся текстильным, меховым, мебельным производством, созданием и поставкой смазочных и строительных материалов, плёнок ПВХ; проходят крупные транспортные магистрали, что обеспечивает поступление в окружающую среду целого ряда загрязнителей, в первую очередь тяжелых металлов. Последнее свидетельствует о том, что здесь необходимо проведение постоянного экологического мониторинга, включающего комплексную оценку радиационной обстановки, содержания ТМ, а также других поллютантов. В связи с этим целью настоящей работы явилась оценка уровней содержания тяжелых металлов и радионуклидов в почвах Щукинского района г. Москвы. Исследования по данному направлению проводились в 2024 году в 2-х километровой зоне возможного влияния НИЦ Курчатовского института в сети мониторинга ГПБУ «Мосэкомониторинг» на 21 площадке (10*10 м), выбранной с учетом розы ветров по направлению от исследовательского центра и различной удаленности от него (250, 500, 1000 и 2000 м). Выбранные точки располагались: а) на дворовых территориях, возле проезжей части, на территории газонов и скверов, где сформированы урбаноземы супесчаные или легкосуглинистые; б) на территории парковых зон и пришкольных участков с зелеными насаждениями, где сформированы дерново-подзолистые супесчаные почвы. Для контроля радиационной обстановки на исследуемых площадках осуществляли измерение мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения (МАЭД) на поверхности почвы и высоте 1 м. Данная величина дает консервативную оценку дозы облучения человека в реальных условиях. Мощность амбиентного эквивалента дозы ($\text{мкЗв} \cdot \text{час}^{-1}$) определялась с помощью мультичувствительного дозиметра-радиометра «РадиаСкан-701А». Для определения удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), а также валового содержания тяжелых металлов (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) и As на каждой из точек опробования с помощью кольцевого почвенного пробоотборника методом конверта были собраны образцы лесной подстилки/дернины и минерального слоя почв до глубины 20 см. Измерения удельной активности радионуклидов проводились в лаборатории кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова на спектрометрической установке МКС-01А «МУЛЬТИРАД» со сцинтилляционным блоком детектирования. Анализ валового содержания тяжелых металлов проводился в испытательной лаборатории Аналитической инспекции ГПБУ «Мосэкомониторинг» на эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой. Для лучшей визуализации представленных результатов на основании географической привязки всех точек опробования с помощью GPS-координат нами были построены

картограммы пространственного распределения МАЭД, удельной активности, плотности загрязнения ^{137}Cs и запасов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , а также валового содержания тяжелых металлов в почвах. Для этого использовалась программа Surfer 9. Статистическая обработка данных проводилась с использованием непараметрических методов, сравнение средних – с помощью критерия Манна-Уитни, корреляционный анализ – с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Проведенные исследования показали, что среднее значение МАЭД на территории Щукинского района г. Москвы составляет: на поверхности почвы $0,08 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$ с колебаниями данного показателя от $0,02$ до $0,16 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$; на высоте 1 м – $0,07 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$, с колебаниями от $0,01$ до $0,17 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$. Максимальные показатели МАЭД отмечались на участках, расположенных на расстоянии $250\text{--}500 \text{ м}$ от НИЦ Курчатовского института, при этом на поверхности почвы значения данного показателя были закономерно выше, однако большие коэффициенты варьирования МАЭД ($53,3\%$) зафиксированы на высоте 1 м от ее поверхности. В целом измеренные средние и максимальные значения МАЭД для Щукинского района ($0,10\text{--}0,19 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$) не превышают среднегодовых значений этого показателя для г. Москвы и допустимого показателя, устанавливающего пригодность территорий под строительство любых объектов ($0,3 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$). Вместе с тем представляет интерес изменения анализируемой величины в зависимости от почвенных разновидностей, сформированных на исследуемой территории. Установлено, что средние значения МАЭД на ненарушенных дерново-подзолистых почвах и урбаноземах значимо ($p=0,05$) не различались. Однако коэффициенты вариации данного показателя на поверхности почвы участков, занятых урбаноземами, были в $1,3$ раза выше, чем таковые на дерново-подзолистых почвах, что обусловлено постоянной турбацией грунта верхних горизонтов в урбаноземах, тогда как в ненарушенных дерново-подзолистых почвах подобного не происходит. Вместе с тем на высоте 1 м значения V данного показателя различались мало.

Удельная активность ^{137}Cs в почвах Щукинского района в среднем составляет $3,4 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ для урбаноземов и колеблется в диапазоне $1,3 - 7,9 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$; для ненарушенных дерново-подзолистых почв – $6,4 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ в лесной подстилке (пределы варьирования $3,6 - 11,2 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) и $5,9 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ в минеральном слое (пределы варьирования $3,1 - 9,5 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$). В этих почвах отмечается заметная разница в показателях удельной активности ^{137}Cs , что, как уже подчеркивалось, связано с постоянной турбацией и подсыпкой чистого грунта, вследствие чего удельная активность ^{137}Cs , здесь в $1,7\text{--}1,9$ раз ниже. На это указывают и различия в коэффициентах вариации удельной активности ^{137}Cs в нарушенных и ненарушенных почвах, особенно в минеральном слое. При этом в урбаноземах и лесной подстилке дерново-подзолистых почв коэффициент вариации составляет 59% и 51% соответственно. В минеральном слое дерново-подзолистых почв он несколько ниже – 47% . Таким образом, полученные значения свидетельствуют о неоднородном распределении ^{137}Cs , наибольшая неоднородность отмечается в урбаноземах. С учетом того, что в качестве референтного уровня удельной активности ^{137}Cs используется значение $40 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$, можно заключить, что данный уровень не превышен ни на одной из точек, а средняя удельная активность радиоцезия в почвах Щукинского района ($4,43 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) близка к средней удельной активности ^{137}Cs в почвах Москвы – $5,0 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$.

Средняя удельная активность естественных радионуклидов в исследуемых урбаноземах достигает $15,0 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ для ^{226}Ra с пределами колебаний от $10,6$ до $21,9 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$; $16,0 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ для ^{232}Th (значения варьируют от $9,9$ до $23,9 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) и $332 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ для ^{40}K (диапазон изменений $260 - 453 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$). Максимальные показатели отмечаются для ^{40}K . Коэффициенты вариации ^{40}K и ^{226}Ra составляют 17% и 21% соответственно, что указывает на среднюю степень рассеивания. Для ^{232}Th он несколько выше – 26% . В ненарушенных дерново-подзолистых почвах в горизонте лесной подстилки средняя удельная активность ^{226}Ra составляет $13,7 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ с диапазоном варьирования $8,8 - 23,0 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$; для ^{232}Th – $11,0 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (диапазон $7,4 - 18,0 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$); для ^{40}K – $133 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (диапазон варьирования $77 - 180 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$). При этом величина V для ^{40}K (30%), ^{226}Ra (42%) и ^{232}Th

(39%) показывают значительную степень рассеивания радионуклидов. В минеральном слое ненарушенных дерново-подзолистых почв средняя удельная активность ^{226}Ra возрастает до $17,1 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (пределы варьирования $15,1 - 18,8 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$); для ^{232}Th - до $18,8 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (пределы $16,5 - 23,2 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$); для ^{40}K - до $385 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ (пределы $349 - 412 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$). Коэффициент варьирования удельной активности ^{40}K (7%) свидетельствует о незначительной степени рассеивания, ^{232}Th (14%) – низкой, а для ^{226}Ra (26%) – значительной. В целом, по имеющимся данным, средние значения удельной активности в почвах ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K составляют $16, 19$ и $386 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ соответственно, при региональных фоновых показателях удельной активности данных радионуклидов в почвах г. Москвы: для ^{226}Ra = 22 ; ^{232}Th — 40 ; ^{40}K – $560 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$.

Плотность загрязнения ^{137}Cs исследуемых горизонтов почв Щукинского района невелика, варьирует в диапазоне от $0,73$ (урбаноземы) до $1,09 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ (дерново-подзолистые почвы), с пределами колебаний $0,28 - 1,66$ и $0,52 - 1,65 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ соответственно. Основная доля ^{137}Cs сосредоточена в минеральных горизонтах, в подстилке дерново-подзолистых почв находится всего $1,8\%$ общего запаса радионуклида. При этом наибольшие показатели отмечаются на участках, расположенных в $250 - 500 \text{ м}$ от НИЦ Курчатовского института. Согласно имеющимся данным, фоновые показатели плотности загрязнения почвы радиоцезием для территории Москвы и Московской области достигают в среднем $1,15 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$. Таким образом, полученные нами данные не превышают указанной величины. Они более чем в 30 раз ниже допустимого уровня, установленного Законом РФ «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» ($37 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$). Запас естественных радионуклидов в $0 - 20 \text{ см}$ толще рассматриваемых почв в среднем достигает: в урбаноземах - ^{226}Ra - $3,24 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ (пределы колебаний $2,33 - 4,38 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$); ^{232}Th - $3,46 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ($2,18 - 4,96 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$); ^{40}K - $71,99 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ($57,12 - 95,13 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$). В то же время в дерново-подзолистых почвах их суммарный запас составляет: ^{226}Ra - $3,11 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ (пределы колебаний $2,67 - 3,62 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$); ^{232}Th - $3,38 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ($2,90 - 4,01 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$); ^{40}K - $69,34 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ ($57,6 - 78,8 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$). В целом максимальные показатели характерны для ^{40}K и значительно меньшие для ^{226}Ra и ^{232}Th , что вполне закономерно и обусловлено содержанием этих элементов в почвах и материнских породах.

Проведенные нами исследования по оценке валового содержания тяжелых металлов и расчет показателя суммарного загрязнения ТМ (Zс) для исследуемых нарушенных и ненарушенных почв позволяют заключить, что в урбаноземах оно в среднем составляет: As - $3,6 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ (с диапазоном колебаний $2,7 - 4,8 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$); Cd - $0,60 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ ($0,36 - \text{до } 1,38 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$); Cu - $21,61 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ ($7,8 - 34,5 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$); Ni - $10,59 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ ($7,2 - 13,9 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$); Pb - $58,79 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ ($6,0 - 630 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$); Zn - $99,95 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$ ($30,8 - 280 \text{ мг}\cdot\text{кг}^{-1}$). Максимальные количества ТМ, как правило, фиксировались на придворовых территориях, минимальные – на парковых участках и газонах с посевом трав. В ненарушенных дерново-подзолистых почвах валовое содержание ТМ по средним показателям несколько ниже, но значимо ($p=0,05$) не отличается от такового в урбаноземах. Исключение составляют металлоид As и Pb, количество которых здесь в 6 и $1,7$ раз меньше. При этом пределы варьирования концентрации всех ТМ в данных почвах также значительно уже. В целом анализ валового содержания ТМ и мышьяка в почвах исследуемой территории свидетельствует, что в урбаноземах отмечаются небольшие превышения ПДК для As (в $1,8$), Cd (в $1,2$ раза) и Pb (в 2 раза). Однако из-за неоднородности распределения ТМ по территории коэффициенты варьирования изменяются от 18 до 60% , причем наиболее высокие – для Pb и Zn. Вместе с тем были выявлены участки дворовых территорий (застройка середины XX века), где зафиксированы более высокие превышения ПДК: As - в $2,4$; Cd - в $2,8$; Pb - в 2 ; Zn - в $2,8$ раза. Это может быть связано с несанкционированным захоронением отходов и со «старым» загрязнением Pb вследствие работы автотранспорта. Показатель Zс здесь также значительно выше - $135,8$, что по категории загрязнения является чрезвычайно опасным (>128). Также стоит отметить, что на этих участках была зафиксирована и самая высокая плотность загрязнения почв по ^{137}Cs ($1,323 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$). На участках, занятых урбаноземами,

было выявлено превышение регионального фонового содержания валовых форм Zn почти в 2 раза (для почв Москвы и Подмосквья оно составляет $50 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$) и Pb – в 2,3 раза (фон- $26 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$, что, вероятно, обуславливается теми же причинами).

Для дерново-подзолистых почв по средним показателям превышения ПДК наблюдаются для As- в 3; Cd - в 1,1; Pb - в 1,1 раз. В этих почвах коэффициенты варьирования содержания ТМ изменяются в более узком интервале (24-57%) по сравнению с урбаноземами, вследствие, как уже отмечалось, постоянной подсыпки и турбации грунта в этих условиях, однако они достаточно высоки, что свидетельствует об определенной неоднородности распределения ТМ. Здесь также были выявлены участки территорий, где зафиксированы более высокие превышения ПДК: As- в 6,1; Cd - в 1,4; Pb - в 1,1; Zn – в 1,3 раз. При этом превышение регионального фонового содержания валовых форм ТМ отмечено только для Zn – в 1,6 раз. В среднем суммарный показатель Zс в урбаноземах достигает 22,81, что свидетельствует об умеренно опасном уровне химического загрязнения почв тяжелыми металлами и мышьяком (<32). Однако пределы колебаний этого показателя лежат в интервале от 5,2 (допустимый уровень) до 135,8 (чрезвычайно опасный уровень). Суммарный показатель Zс в ненарушенных дерново-подзолистых почвах в среднем составляет 14,27, что является допустимым уровнем (<16), при этом пределы варьирования лежат в диапазоне - 9,45 - 20,58 (умеренно опасный уровень). Интересным, является оценка особенностей пространственного распределения радионуклидов и ТМ в почвах исследуемой территории, которая была сделана на основании картограмм распределения МАЭД у поверхности почвы и высоте 1 м, удельной активности и плотности загрязнения ^{137}Cs , запасов естественных радионуклидов, валового содержания всех исследуемых тяжелых металлов в почвах, а также рассчитанных коэффициентов корреляции Спирмена. Для радиационных показателей (МАЭД, удельной активности и плотности загрязнения ^{137}Cs в пространственном распределении наблюдается выраженная очаговость, которая, как правило, привязана к парковым зонам с ненарушенными почвами. В то же время пространственное распределение естественных радионуклидов сходно между собой, в их распределении такой выраженной очаговости, как это наблюдалось для ^{137}Cs , не отмечается. Это обусловлено различными причинами. Распределение МАЭД, удельной активности, запасов и плотности загрязнения ^{137}Cs обусловлено аэральными выпадениями, то есть удаленностью от источника выброса и розой ветров. Наиболее выраженные очаги отмечаются в 250–500 м зоне влияния НИЦ Курчатовского института. Пространственное распределение естественных радионуклидов не имеет выраженной очаговости и связано с их литогенным происхождением и содержанием в почвообразующей породе. Полученные коэффициенты Спирмена, характеризующие взаимосвязи между валовым содержанием ТМ, свидетельствуют, что в целом они невелики ($\rho < 0,3$), величина взаимосвязи между As и Cu, As и Ni, Ni и Cd, Cu и Zn, Ni и Zn лежит в интервале $0,3 \leq \rho < 0,7$; наибольшие показатели характеризуют взаимосвязи между валовым содержанием Cu и Ni, Pb и Zс ($\rho > 0,7$). Коэффициенты Спирмена, полученные между различными радиационными показателями, значительно меньше, чем таковые для ТМ и зачастую имеют обратную зависимость, как правило, для них $\rho < 0,3$. Величина взаимосвязи между удельной активностью ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и их запасами, а также между удельной активностью ^{137}Cs и Zс, запасом ^{232}Th и удельной активностью ^{40}K лежит в интервале $0,3 \leq \rho < 0,7$. Наибольшей величиной характеризуется взаимосвязи между удельной активностью ^{40}K и запасами ^{226}Ra и ^{232}Th ($\rho > 0,7$). Таким образом, для тяжелых металлов сильная зависимость наблюдается только между содержанием никеля и меди, а также содержанием свинца и суммарным показателем химического загрязнения почвы. Для радиационных показателей сильная и умеренная зависимости наблюдаются между величиной их удельной активности и запасами естественных радионуклидов; умеренная зависимость - между удельной активностью ^{137}Cs и плотностью загрязнения, а также удельной активностью ^{137}Cs и суммарным показателем химического загрязнения

(Zc) почв ТМ. В целом на основании полученных данных можно заключить, что экологическая обстановка на территории Щукинского района г. Москвы вполне удовлетворительная. По радиоэкологическим показателям не отмечается превышение уровней среднего значения МАЭД и суммарной плотности загрязнения ^{137}Cs . Все характеристики находятся в пределах региональных величин по г. Москве и не превышают значений, установленных законодательными и иными документами: Уровни содержания валовых форм ТМ в почвах в целом находится в пределах регионального фона г. Москвы, за исключением Zn и Pb, количество которых примерно в 2 раза превышает таковое (соответственно $50 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ и $26 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$). Однако отмечается превышение ПДК As; Cd, Cu; Zn, и особенно Pb в урбанизмах, при этом показатель Zc индексирует умеренно опасный уровень химического загрязнения данных почв, в то время как в ненарушенных дерново-подзолистых почвах этот уровень - допустим. В целом на основании выявленной умеренной взаимосвязи между загрязнением ^{137}Cs и суммарным загрязнением почв тяжелыми металлами можно говорить о комплексном воздействии этих экотоксикантов на объекты биоты.

УДК 631.417

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ГУМИФИКАЦИИ КАК ПУТИ СТАБИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА В БИОСФЕРЕ

Чуков С.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет, 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 основным стабильным резервуаром (не менее сотен и тысяч лет) являются гуминовые вещества, которые образуются в процессе гумификации.

Популярные ныне концепции «негуминовой» физической стабилизации органического вещества почв, основанные, главным образом, на процессе окклюдирования неразложившихся органических остатков высокодисперсным минеральными частицами не обеспечивают длительную стабилизацию этих остатков. Их радиоуглеродный возраст, как правило, не превышает десятков, редко сотни лет. Тогда как гуминовые вещества гораздо старше. Процесс гумификации приводит к формированию специфических пространственно распределенных макромолекул гуминовых веществ, которые обладают существенно более высокой биотермодинамической устойчивостью по сравнению с растительными остатками, что вполне удовлетворительно описывается теорией эволюционной гумификации. Даже в условиях активного биологического круговорота в профиле чернозема возраст гуминовых веществ составляет 1–3 тыс. лет.

Стабильность гуминовых веществ как резервуара стока углерода обеспечивается биохимической устойчивостью их молекулярной структуры и прочной связью с минеральной матрицей почвы. Поэтому экологическая функция гуминовых веществ в аспекте аккумуляции органических соединений углерода и запасенной в них энергии крайне важна для стабильного функционирования экосистем и биосферы в целом. Неудивительно, что IURAC 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 гуминовыми веществами, 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. Гумификацию необходимо рассматривать как важный компонент циркуляционной экономики замкнутого цикла.

В России данная проблема активно обсуждается и разрабатывается на основе вступившего в силу 1 марта 2023 г. Федерального закона, регламентирующего переработку органических отходов. Общественная палата Ленинградской области 25 февраля 2025 г. провела круглый стол «Проекты переработки органических отходов для целей утилизации и/или получения вторичных материальных ресурсов». АНО «Международная организация развития БРИКС» 27 марта 2025 г. провели межрегиональное межотраслевое совещание «Экоустойчивое сельское хозяйство: вектор на плодородие». На нем рассматривали стратегии создания экоустойчивой модели замкнутого цикла на основе природоподобных технологий и поддержание плодородия почв. 26-27 марта 2025 г. в Москве прошла VIII специализированная конференция «Обращение с органическими отходами». На ней рассматривали вопросы использования органических и неорганических отходов и удобрений из них для регулирования обеспечения плодородия земель с/х назначения.

УДК 631.445

КОРИЧНЕВЫЕ ПОЧВЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРЕДУРАЛЬСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ БАШКОРТОСТАНА

Чурагулова З.С., Миндибаев Р.А., Ишбулатов М.Г., Юмагузина Л.Р.

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» г. Уфа,

lija1968@mail.ru

Республика Башкортостан геологический расположена на склонах Южно-Уральских гор, частично находясь на территории Предуралья и Зауралья. В разнообразие рельефа республики вносят свою лепту различные пещеры, сырты, увалы, холмы и др. Разнотипность геохимии почв на территории определяется гетерогенностью горных пород, условиями формирования рельефа, направленностью и интенсивностью проявления экзо- и техногенеза.

Это разнообразие климата и рельефа повлияло на формирование почвенного покрова. Черноземы занимают 31,7% территории, серые лесные - 27,6%, горные - 25,1% и аллювиальные - 6%. Под руководством Д.В.Богомолова в 1934-1940 годах впервые провели комплексное изучение почв и в 1941 году составлена первая сводная почвенная карта Башкирии (в масштабе 1:2000 и 1:500). В настоящее время кафедрой кадастра недвижимости и геодезии Башкирского ГАУ проводятся работы по корректировке почвенных карт и созданию электронной почвенной карты земель сельскохозяйственного пользования. Учеными республики выделено 7 природно-экономических (лесохозяйственных) и 6 агропочвенных (сельскохозяйственных) районов. В основу ее положены различные физико-географические, климатические, почвенно-грунтовые, гидрологические, экологические условия РБ.

Вопросы почвообразования в зависимости от природно-климатической зоны интересовали многих ученых. В этом отношении представляет интерес работы Р.В. Ризположинского. В первых, он предавал большое значение почвообразующим породам в формировании почв; во-вторых, рассматривал почвы в постоянном развитии со множеством переходных форм. Его взгляды и идеи в вопросах генезиса и эволюции коричневых почв созвучны с историко - генетической концепцией развития почв В.А. Ковды в тридцатые годы прошедшего столетия. Согласно этой концепции, почвы разных типов рассматриваются в историко-генетической связи и отмечается активное воздействие почвообразующих пород на состав и свойства почв. Еще более обстоятельно разработаны эти вопросы в трудах С.В. Зонна (1983,1985,1989), в которых недвусмысленно подчеркивается, что почвообразующие породы не пассивная основа почвы, что их состав может определять направление почвообразования в большей степени, чем живые организмы.

В природно-климатических условиях Предуральской лесостепи Башкортостана нами выделенные коричневые почвы естественных и антропогенно-преобразованных экосистем, которые обязаны своим происхождением выходу на дневную поверхность пермских красноцветных отложений. А.Ф. Неганов, изучавший генезис коричневых и

серо-коричневых лесных почв (1938), считал, что окраска этих почв определяется не столько почвообразовательными процессами, сколько свойствами материнских пород. С другой стороны, эти свойства материнской породы могли приобрести не в современных условиях континентального климата, а раньше, когда в Предуралье был теплый, влажный климат.

В течение целого столетия многие исследователи Среднего Поволжья и Южного Урала подчеркивали своеобразие почв, сформировавшихся на пермских красноцветных отложениях, по-разному, называя их. Они отражены в работах известных ученых: Н.Н. Розова (1939,1964); Д.В. Богомоллова (1954); Г.А. Складорова, Письмерова (1973), С.Н. Тайчинова, Н.Р. Бахтизина (1973), А.Х. Газизуллина (2005), Ф.Х. Хазиева, А.Х. Мукатанова (2006). З.С. Чурагуловой (2012, 2019,2022), Р.А. Миндибаева. Однако и по настоящее время нет единого мнения среди почвоведов о генезисе, номенклатуре и типовой принадлежности этих почв, правомочность их выделения в самостоятельный почвенный тип.

Среди серых лесных почв по родовому признаку выделяют пестроцветные почвы. Такие почвы достаточно встречаются на территории Бакалинского, Шаранского и других близлежащих к ним районах. Они развивались в окружении и в непосредственном сочетании с серыми лесными и перегнойно- карбонатными почвами и приурочены к расчлененному, холмисто-увалистому рельефу, где занимают наиболее повышенные и наиболее подверженные смыву элементы рельефа. На рисунке 1 приведена фотография разреза, сделанная на территории СП Старокуручевский сельсовет МР Бакалинский район.



Рисунок 1. Фотография разреза и морфологическое описание генетических горизонтов серой лесной пестроцветной почвы

(Разрез №12, СП Старокуручевский сельсовет, МР Бакалинский район, 2025г.)

Как было сказано почвы, данный тип относится по родовому признаку к пестроцветным. Однако никакой пестроты не по внешнему виду, не по строению не наблюдается, а наблюдается четко выраженный коричневый тон по всему разрезу. Поэтому было бы правильнее назвать такие почвы коричневыми. Для сравнения приведем описание серой лесной почвы

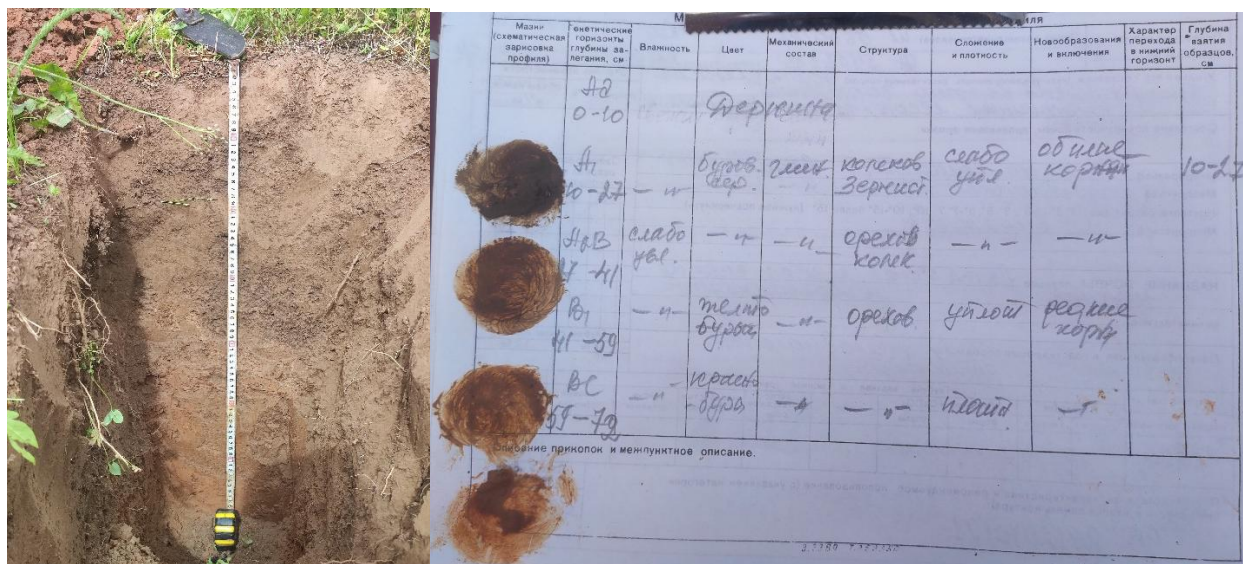


Рисунок 2. Фотография разреза и морфологическое описание генетических горизонтов серой лесной почвы

(Разрез №7, СП Урманяевский сельсовет, МР Бакалинский район, 2024 год)

Почвообразующей породой для коричневых почв служит тяжелый красноцветный элювий пестроокрашенных пермских мергелей суглинистого гранулометрического состава. Красноцветная глина имеет различную мощность. Интенсивный биологический круговорот органических и минеральных веществ, нейтрализующих кислый гидролиз способствуют аккумуляции кальция и железа в гумусовых горизонтах. Отсюда коричневый и красный тона окраски, которые унаследованы породами и почвами, развитыми на них, а лесной опад лиственных пород не смогли оказывать существенного влияния на окраску и химический состав сформировавшихся почвенных профилей. При полевых исследованиях отмечается отсутствие морфологических признаков оподзоленности, слабая дифференциация профиля.

При сплошном картировании почв лесонасаждений на территории Дюртюлинского, Туймазинского, Уфимского лесничеств в масштабах 1:25000 и 1:10000 общей площадью более 120 тыс. га выявлено, что 10% территории занимают коричневые и темно-коричневые почвы. При обследовании сельскохозяйственных угодий (антропогенно-преобразованных территорий) на территории Бакалинского, Шаранского и Туймазинского районов такие почвы описаны на достаточно большой территории. Например, при обследовании неиспользуемых земель площадью около 4 тысяч га в Бакалинском районе было заложено 33 почвенных разреза, из них 24 оказались на коричневых почвах. Учитывая отсутствие морфологических признаков оподзоленности, слабую дифференциацию профиля, связанную с богатством почвообразующих пород железом и кальцием, интенсивный биологический круговорот, высокие физические и физико-химические свойства рассматриваемых почв, сближающих с одной стороны с черноземами, в других – с бурыми лесными, мы отнесли их к коричневым почвам, придерживаясь к классификации 2004г.

Изученные территории отнесены в район широколиственных лесов левобережья реки Белой, а по зоне произрастания леса – к зоне смешанных лесов Европейской части РФ. Широколиственные леса из дуба, липы, ильма, клена, приурочены большей частью к повышенным элементам рельефа. На более сниженных водоразделах и на склонах широколиственные леса сменяются насаждениями из дуба, осины, березы. Эта смена в составе лесных насаждений зависит от почвообразующей породы и типов почв. В Октябрьском лесничестве, на пример, квартале №79 состав насаждений 8Лп 2В+Дн,Кл. Бонитет-III, возраст 55 лет. Средний диаметр 20см, средняя высота 17 см. Запас древесины 672 кубических метров.

Морфологическое описание генетических горизонтов приводится на примере **разреза 65**.

Генетические горизонты представлены следующей формулой: АУ- ВМ –ВСА- С(са).

АО	Лесная подстилка из разложившихся, полуразложившихся листьев
0-3 см	древесной и травянистой растительности.
АУ	Темно-коричневый, слабоувлажненный, тяжелосуглинистый,
3-28 см	крупнозернистый, слабо уплотненный, много корней, встречаются копролиты червей, переход в следующий горизонт постепенный.
(АУ)	Буровато-коричневый, тяжелосуглинистый, свежий, крупнозернисто-
28-38 см	мелкокомковатый, среднеуплотненный, корни растений, переход в следующий горизонт заметный.
ВМ	Красновато-коричневато-бурый, свежий, плотнее АУ, свежий,
38-67 см	глинистый, крупноореховато-призмовидный, с глубины 50 см вскипает от действия 10% соляной кислоты, корней меньше, переход в следующий горизонт постепенный.
ВСА	Неоднородный светло-буровато-коричневатый, глинистый, свежий,
67-120 см	среднеуплотненный, комковато-призмовидный, ходы почвенной фауны и их копролиты, карбонаты кальция выделяются в виде белесых прожилок, переход постепенный.
С(са)	Красновато-бурый с сизыми прослойками, неоднородный элювий
120-135 см	мергелей, глинистый, бесструктурный, плотный, бурно вскипает от действия 10% соляной кислоты, встречаются включения в виде обломков карбонатных пород и мергелей различной окраски.

Таблица 1

Содержание гумуса, рН среды, поглощенные основания, степень насыщенности основаниями

Горизонт и глубина, см	Содержание гумуса, %	рН сол.	ГК	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Емк. поглощ.	Насыщенность основаниями, %
Коричневые типичные структурно-метаморфические легкоглинистые. Р.6								
PU 3-25	4,6	5,8	2,8	29,0	5,0	34,0	36,8	92,4
AU 25-35	4,5	5,4	2,9	24,3	3,2	27,5	30,4	90,1
BM 45-55	2,9	5,9	0,7	16,1	5,1	21,2	21,9	96,8
BCA 55-65	2,1	6,4	0,4	18,3	10,3	28,6	30,0	95,3
B1 55-65	1,0	6,7	0,8	29,0	5,0	34,0	34,8	97,7
Агротемно-коричневые типичные структурно-метаморфические тяжелосуглинистые. Р.65								
PU 0-28	6,2	6,6	0,7	29,5	6,0	35,5	36,2	97,5
AU 28-38	5,9	6,4	0,8	27,6	6,7	34,3	35,1	97,7
BM 45-55	3,2	6,0	1,1	22,3	7,6	29,9	31,0	96,5
BCA 80-90	0,8	7,0	0,4	20,0	5,8	25,8	26,2	98,5
Cca120-130		7,3	0,4	19,1	5,9	25,0	25,4	98,4
Агросерые текстурно-дифференцированные легкоглинистые. Р.20								
PU 0-22	4,2	4,9	4,1	13,5	2,1	15,6	19,7	79,1
AU 22-32	3,2	4,4	4,5	14,0	4,7	18,7	23,2	79,7
BM 38-48	1,8	4,9	5,8	12,8	5,4	18,2	24,0	80,6
BCA 70-80	0,4	5,4	4,6	13,9	5,0	18,9	23,5	80,4
C 90-100	0,1	4,9	4,1	13,5	2,1	15,6	19,7	79,1

Таким образом, из данных, приведённых в таблице 1 видно, что содержание гумуса в верхних слоях описываемых почв составляет: к коричневым типичным легкоглинистым почвам – 4,6%; в агротемнокоричневым тяжелосуглинистым – 6,2%, а в агросерых – 4,2%.

Реакция почвенного раствора коричневых и агротемнокоричневых почв характеризуется как близкая к нейтральным и нейтральным, а в почвообразующей породе – щелочными. Таким образом, считаем необходимым более правильным поменять название пестроцветные почвы на коричневые с выделением их подтипов: светло-коричневые, коричневые и темно-коричневые.

УДК 631.445.4:631.418]:633.111.1«324»(470.620)

ЭМИССИЯ CO₂ В АГРОЦЕНОЗЕ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ НА ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ АЗОВО-КУБАНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Шалаяпин В. В., Онищенко Л. М. Репко Н. В.

ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, e-mail: ub6aat@yandex.ru, dekanatxp@mail.ru

Введение. В мире запасы углерода в метровом слое почвы оцениваются в 1,42 Гт. Это примерно в три раза больше, чем в атмосфере Земли. В последнее время научным сообществом уделяется особое внимание потерям углерода, в особенности из почвенного органического вещества. Связано это с решением проблематики высокой минерализации почвенного органического вещества. При интенсивном использовании удобрений в агроценозах важно создание препятствий спонтанному процессу минерализации с целью поддержания и накопления органического вещества почвами. Основным компонент органических соединений – углерод. Основными накопителями углерода органического вещества (C_{орг}) являются почва, растения, микроорганизмы и животные.

Глобальный углеродный цикл планеты существенно изменился за последние 200 лет.

Ученые связывают это явление не только с деятельностью человека, но и биогеохимическими, климатологическими процессами в круговороте углерода.

Ключевыми причинами увеличения «парниковых» газов была признана сельскохозяйственная деятельность – использование удобрений, животноводство, управление отходами, а также сжигание ископаемого топлива, вырубка лесов. В период 1970 – 2022 гг. концентрация диоксида углерода (CO₂) в атмосфере увеличилась с 326 до 420 мг/кг (или на 28,8 %). Усиление выбросов и повышение парникового эффекта многие исследователи связывают с одним из главных резервуаров этого элемента в биосфере – почвой. (М. В. Глаголев, 2013; П. В. Красильников, 2016; Е. А. Ainsworth, S. P. Long, 2020; E. Chakwizira, H. J. Dunbar, M. Andrews, D. J. Moot, E. Teixeira, 2023).

Почвы выступают активным участником изменения содержания в атмосфере диоксида углерода (Национальный доклад, 2018). Удобрения изменяют химические и физико-химические процессы в почве, влияют на активность почвенной биоты. Высвобождение диоксида углерода из почвы в атмосферу, «дыхание почвы» позволяет оценить влияние используемых удобрений на биологию почвы. Установить действие возможно по интенсивности эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы. Как пишет А. А. Романовская (2007), интенсивность выделения диоксида углерода у черноземов выщелоченных в агроценозах варьирует от 160 до 1003 мг/(м²/ч). «Почвенное дыхание» формируется из нескольких составляющих: дыхание корней растений и микроорганизмов ризосферы, и разлагающих почвенное органическое вещество.

Выращивание сельскохозяйственных культур, внесение удобрений, сезонность неоднозначно влияют на эмиссию CO₂. Исследования С. А. Кулачковой, Е. Н. Деревенец, А. С. Сорокина, В. В. Прониной (2025) свидетельствуют о том, что за лето максимальная суммарная интенсивность эмиссии диоксида углерода почвами на фоне других полевых культур была под многолетними травами. Обусловлено это, как считают авторы, более активным корневым дыханием сформировавшейся подземной биомассой растений.

Поэтому актуально проводить расчеты баланса потоков CO₂ в приземном слое атмосферы, делать оценку составляющих углеродного цикла для аграрного региона юга России.

В связи с этим особое внимание должно уделяться методам количественного определения в агроценозах интенсивности дыхания почвы (ИДП).

Целью работы являлась оценка сезонной эмиссии диоксида углерода в зависимости от влияния периода вегетации пшеницы озимой и видов минеральных удобрений, применяемых в агроценозе культуры, выращиваемой на черноземе выщелоченном. Методика проведения исследований. Моделированный опыт проводился в Центре искусственного климата Кубанского ГАУ с использованием почвы, отобранной после уборки пшеницы озимой, из пахотного слоя, на делянках многолетнего стационарного опыта кафедры агрохимии в период с 2018 по 2021 гг., который развернут в пространстве и времени в УОХ «Кубань» Кубанского ГАУ. В этом опыте изучались наиболее контрастные варианты: контроль (000), азотные в норме N_{80} (200), фосфорные P_{60} (020) и калийные K_{40} (002) удобрения, а также совместное их применение в норме $N_{80}P_{60}K_{40}$ (222). Повторность – трехкратная, размещение вариантов в опыте рендомизированно.

Минеральные удобрения вносили до посева пшеницы мягкой озимой под основную обработку почвы (допосевное внесение): аммонийная селитра, аммофос, хлорид калия. Возделывание пшеницы мягкой озимой соответствовало агротехнологии, рекомендуемой для центральной сельскохозяйственной зоны Кубани. Агрометеорологические условия за годы исследования были благоприятными для вегетации культуры.

Оценку суточной эмиссии диоксида углерода проводили в соответствии с методом И. Н. Шаркова (2005). Подготовка почвы заключалась в приведении ее до однородного состояния путем просеивания через сито с ячейками 3 мм. Набивка вегетационных сосудов почвой осуществлялась тщательно путем доведения их до постоянной массы. Чашку Петри с щелочью устанавливали на деревянные палочки чтобы высота размещения составляла 1 см, площадь сосуда при этом была равна $14,99 \text{ см}^2$. Размещенные чашки Петри на подставки плотно накрывали пластиковыми стаканчиками, чтобы избежать потери диоксида углерода. Моделирование погодных условий осени, лета и весны выполнялось в климатических камерах CONVIRON PGR 15. Режим в климатических камерах устанавливался по усредненным региональным многолетним данным температуры и влажности атмосферного воздуха за 17 октября, 31 марта и 1 июня. Обработка экспериментальных данных выполнялась с помощью языка программирования R (v. 4. 3. 0) с использованием базовых статистических пакетов.

Результаты. Наблюдение за суточной эмиссией диоксида углерода из чернозема выщелоченного показали, что на контрольном варианте опыта (000) весной она составила $76,93 \text{ мг CO}_2/\text{кг}$ почвы. В летний период вследствие высоких температур (дневная/ночная температура атмосферного воздуха $33,1/17,1 \text{ }^\circ\text{C}$) и отсутствии осадков (среднегодовая сумма атмосферных осадков 51-70 мм) снижает активность микроорганизмов в почве, поэтому наблюдается уменьшения эмиссии диоксида углерода почвой на $14,72 \text{ мг CO}_2/\text{кг}$ почвы (рисунок 1).

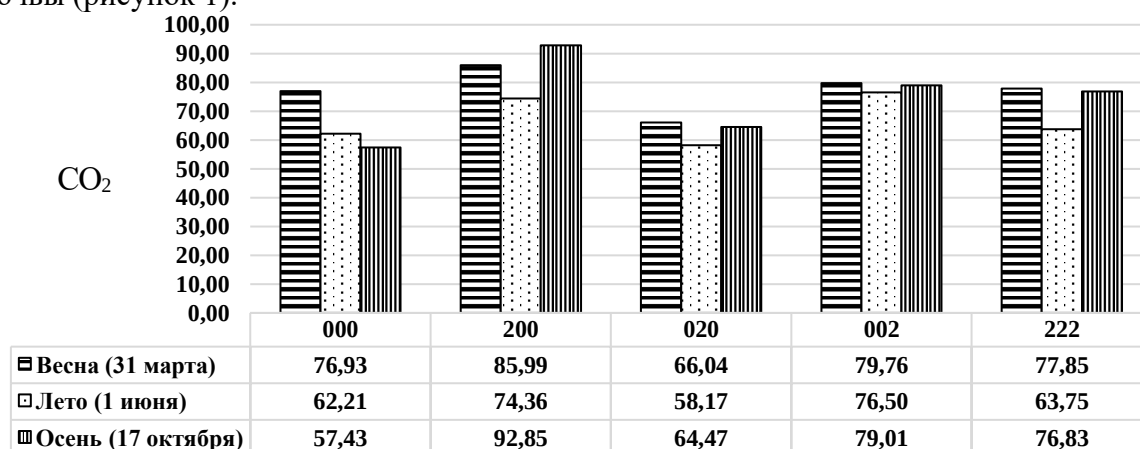


Рисунок 1 – Сезонная динамика эмиссии диоксида углерода за сутки, $\text{мг CO}_2/\text{кг}$ почвы. Без применения удобрений на контроле (000) осенью наблюдается уменьшение по сравнению с эмиссией диоксида углерода в весенний период на $19,50 \text{ мг CO}_2/\text{кг}$ почвы. Это снижение связываем с тем, что температуры атмосферного воздуха наименее

благоприятные (11,3-17,6 °С) для биологической активности и недостаток влаги (17,7-60,0 мм), может снижать активность микроорганизмов в почве. Азотные удобрения в норме N₈₀ (200) увеличивали эмиссию диоксида из почвы в все периоды наблюдения. На этом варианте весной, летом и осенью зафиксированная эмиссия диоксида углерода составила 85,99 мг СО₂/кг почвы; 74,36 и 92,85 мг СО₂/кг почвы.

Применение фосфорных удобрений в норме Р₆₀ (020) сопровождается снижением эмиссии диоксида углерода весной на 10,89 мг СО₂/кг почвы, а осенью напротив увеличивают на 7,04 мг СО₂/кг почвы. Калийные удобрения в норме К₄₀ (002) повлияли в сторону увеличения эмиссии летом и осенью на 14,59 мг СО₂/кг почвы и 21,58 мг СО₂/кг почвы соответственно. Совместное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в норме N₈₀P₆₀K₄₀ (222) повышают эмиссию диоксида углерода только осенью до 76,83 мг СО₂/кг почвы (рисунок 2).

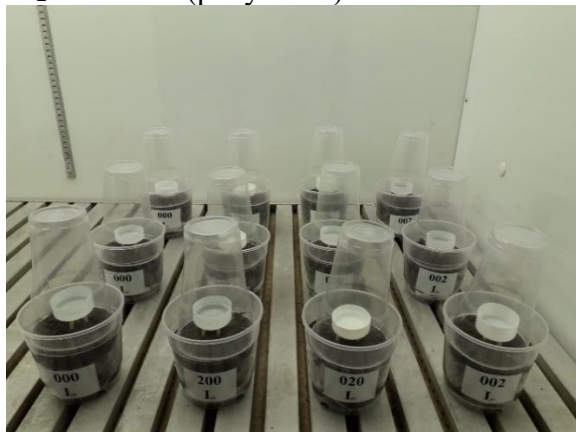


Рисунок 2 – Проведение моделированного опыта по оценке сезонной эмиссии диоксида углерода из чернозема выщелоченного

Относительный разброс данных по влиянию видов удобрений на сезонную эмиссию диоксида углерода в агроценозе пшеницы озимой выстроился в ряд: минимален при действии калийных, затем фосфорных и практически одинаков при внесении азотных и полного удобрения, содержащем азот, фосфор и калий. Степень рассеивания полученных данных в опыте незначительна, так как коэффициенты вариации обозначенных вариантов в ряду равны: 3,18; 7,30; 9,36 и 9,65 % соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Статистические данные эмиссии диоксида углерода из почвы, мг СО₂/кг почвы

Наблюдение	n	$\bar{M}$	max	min	σ	v, %	$\bar{M} + m$
За опыт	45	72,84	93,98	54,52	10,15	13,94	72,84 ± 1,15
Весна	15	77,35	86,64	62,30	6,90	8,90	77,35 ± 1,78
Лето		67,06	80,30	55,03	7,74	11,54	67,06 ± 2,00
Осень		74,12	93,98	54,52	12,82	17,30	74,12 ± 3,31
000	9	65,52	78,66	54,52	8,97	13,68	65,52 ± 2,99
200		84,40	93,98	73,06	8,15	9,65	84,40 ± 2,72
020		62,89	69,77	55,03	4,59	7,30	62,89 ± 1,53
002		78,42	81,21	72,69	2,50	3,18	78,42 ± 0,83
222		72,81	78,11	63,51	6,82	9,36	72,81 ± 2,27

Примечание: n – число наблюдений; $\bar{M}$ – среднее арифметическое; σ – среднее квадратичное отклонение; v – коэффициент вариации; m – ошибка среднего арифметического

Сравнивая изменчивость показателей в зависимости от применения видов минеральных удобрений в течении вегетации культуры, можно констатировать, что совокупность данных говорит об их однородности, влиянии температуры и влажности (сезонности) на эмиссию диоксида углерода из почвы так как степень рассеивания полученных данных

незначительна. Коэффициенты вариации эмиссии CO_2 обозначенных сезонов – весна, лето и осень были равны: 8,90; 11,54 и 17,30 % соответственно. На контроле – 13,68 %. Таким образом, обобщая результаты суточной (сезонной) эмиссии диоксида углерода в агроценозе пшеницы озимой, выращиваемой на черноземе выщелоченном Азово-Кубанской низменности можно заключить, что на эмиссию диоксида углерода с поверхности почвы влияет гидротермический режим, который более благоприятный в летний и осенний периоды. Минеральные удобрения в норме N_{80} (200), фосфорные P_{60} (020) и калийные K_{40} (002) удобрения, а также совместное их применение в норме $\text{N}_{80}\text{P}_{60}\text{K}_{40}$ (222) указывает на незначительную степень рассеивания данных. Статистическая обработка результатов опыта показателя средние коэффициенты вариации по сезону от 8,90 до 17,30 %, а минеральных удобрений от 3,18 до 9,65 %.

УДК 630*114.351

ПОСТУПЛЕНИЕ УГЛЕРОДА В ПОЧВЫ С РАСТИТЕЛЬНЫМ ОПАДОМ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗВЕНИГОРОДСКОЙ БИОСТАНЦИИ МГУ

Шахтарин Ю.А., Копчик Г.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: shyurash@gmail.com

В лесных экосистемах растительный опад является важнейшим компонентом, связывающим растительность и почвы: он служит источником органического вещества и элементов питания, поддерживает биогеохимические циклы элементов, влияет на структуру и плодородие почв, их биологическую активность. Опад формирует лесную подстилку, которая играет существенную роль в структуре и функционировании лесных экосистем и почв как их компонентов, определяя температуру, влажность, аэрацию, реакцию, обеспеченность элементами питания верхних горизонтов почв, удерживая влагу и создавая благоприятные условия для развития растений, беспозвоночных животных и микроорганизмов. Поступление углерода с опадом является одним из самых значимых потоков в углеродном цикле лесных экосистем, в огромной степени определяющим изменения запасов углерода в почвах и поддержание углеродного баланса. Цель работы – оценка количества и динамики поступления углерода с наземным опадом на поверхность почв в лесных экосистемах зоны хвойно-широколиственных лесов.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в типичных для хвойно-широколиственной зоны лесных биогеоценозах (БГЦ) на территории Звенигородской биостанции Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ЗБС МГУ) (Московская область). Леса ЗБС составляют основу государственного природного заказника регионального значения «Звенигородская биостанция МГУ и карьер Сима» и относятся к водоохраным, защитным, санитарно-гигиеническим и оздоровительным лесам особо охраняемых природных территорий.

Растительный покров ЗБС МГУ в течение многих тысячелетий испытывал влияние человека. Интенсивное хозяйственное воздействие включало вырубку лесов, пожары, распашку и обусловленную ею почвенную эрозию. Эти периоды сменялись периодами восстановления почв и растительности. Поэтому в настоящее время большая часть лесов водораздела ЗБС представлена вторичными лесами, в основном, 80–100-летними ельниками с преобладанием бореальных и некоторым участием неморальных элементов. Исследования вели на участках интенсивного мониторинга, заложенных на территории заказника в 2005–2007 гг. в соответствии с рекомендациями Международной совместной программы по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на леса (ICP Forests). В 2011–2013 годах древостои лесных экосистем ЗБС заметно пострадали от вспышки численности короеда-типографа. Наиболее сильным нарушениям подверглись сложный сосново-еловый и сложный еловый леса, в которых большинство крупных елей погибли, в результате чего образовались редины, а в настоящее время сформировались разреженные леса. Березово-еловый лес испытывал постепенные, менее выраженные

нарушения. Таким образом, объектами исследования послужили три типа лесных экосистем:

- разреженный сосново-еловый лес на подзолистой почве (элювоземе);
- березово-еловый лес на дерново-подзолистой почве (дерново-элювоземе);
- молодой елово-липовый лес на дерново-подзолистой почве (дерново-элювоземе).

Почвообразующие породы представлены «обратными двучленами» – покровными суглинками, подстилаемыми флювиогляциальными песками.

Растительный опад собирали с помощью 36 опадоуловителей, размещенных по 12 штук в пределах проекции крон деревьев-доминантов в буферной зоне каждого из контрольных участков мониторинга. Опадоуловители представляли собой мешки из капроновой сети с отверстиями размером около 1 мм² площадью 0,25 м² и глубиной 0,5 м, закрепленные на приподнятых над землей деревянных каркасах высотой 1.2 м. Сбор опада из опадоуловителей проводили в апреле 2023 года после холодного периода (ноябрь 2022 – март 2023 гг.) и ежемесячно в вегетационный период по конец октября 2023 года. Опад высушивали до воздушно-сухого состояния, разбирали на фракции и взвешивали на технических весах с точностью до второго знака после запятой.

Общее содержание углерода и азота в растительных остатках определяли в растертых (на шаровой мельнице) до состояния пудры образцах методом высокотемпературного сжигания с помощью системы элементного макро-анализа почв и минералов NC Technologies ECS 8024. Также определяли гигроскопическую влажность образцов опада для последующего пересчета массы опада и содержания углерода на абсолютно-сухое вещество.

Результаты и обсуждение

Месячная динамика поступления опада типична для зоны хвойно-широколиственных лесов (рисунок). Во всех БГЦ поступление опада минимально в зимнее время. В течение вегетационного периода наименьшее количество опада характерно для июля. Оно нарастает к осени, достигая максимума в елово-липовом лесу в сентябре и в сосново-еловом и березово-еловом лесах в октябре. В сосново-еловом лесу поступление опада сравнительно равномерно в течение вегетационного периода, а в лесах с большим участием лиственных пород максимально осенью, что связано с сезонностью опадения последних.

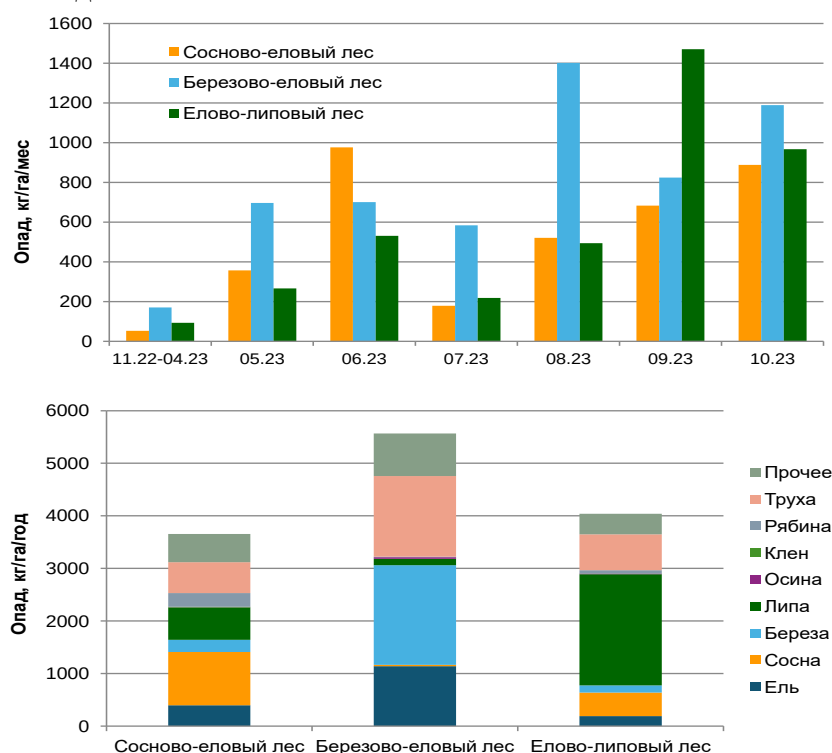


Рисунок. Динамика поступления (вверху) и годовое количество (внизу) растительного опада в лесных биогеоценозах Звенигородской биостанции МГУ в 2023 году.

В разреженном сосново-еловом лесу, пострадавшем от короеда-типографа, в составе опада преобладает опад сосны (28 %), липы (17 %) и ели (11 %), заметен вклад рябины (7 %). В составе опада ели доминирует фракция хвои, а опада сосны – шишки. В березово-еловом лесу основной вклад в состав опада вносят опад березы (34 %) и ели (20 %), велика доля трухи (28 %). В елово-липовом лесу, потерявшем большинство старых елей, абсолютно доминирует опад липы (52 %), за ним с большим отрывом следует опад сосны (11 %).

В целом, годовое количество опада в 2023 г. увеличивалось от 3660 кг/га в сосново-еловом лесу до 4040 кг/га в елово-липовом лесу и 5570 кг/га в березово-еловом лесу. Согласно результатам предыдущих исследований, в среднем ежегодное поступление опада в 2007–2009 годах достигало максимума в перестойном сосново-еловом лесу (6070 кг/га) и снижалось до 5250 кг/га в елово-липовом и 4450 кг/га в березово-еловом лесах. Таким образом, за 12 лет после частичной гибели ели в результате поражения короедом-типографом поступление опада уменьшилось в наиболее пострадавших от него сосново-еловом (на 40 %) и молодом елово-липовом (на 20 %) лесах. Напротив, количество опада возросло (на 18 %) в припевающем березово-еловом лесу с началом выпадения старых елей.

Содержание углерода и азота в остатках фотосинтезирующих и одревесневших органов древесных растений варьирует в зависимости от их вида и фракции. Содержание углерода во фракциях опада хвойных деревьев находится в диапазоне 48,2–53,6 %, опада лиственных – 49,1–53,4 %, азота – в диапазонах 0,26–1,5 % и 0,67–1,3 % соответственно. Наибольшее количество углерода характерно для ветвей, коры и шишек хвойных пород, наименьшее – для листьев липы и осины. В трухе содержится 46,4 % углерода и 1,2 % азота. Содержание углерода и азота близко к величинам, полученным в ходе исследований в 2007–2009 годах, проведенных на тех же объектах, а также к литературным данным.

Динамика ежемесячного поступления углерода в лесных БГЦ ЗБС МГУ в течение 2023 года отражает изменения количества поступающего растительного опада. За год на поверхность почвы в разреженном сосново-еловом лесу, ранее пострадавшем от короеда-типографа, в общей сложности поступило 1820 кг С/га, в том числе 510 кг С/га с опадом сосны, 200 кг С/га с опадом ели, 120 кг С/га с опадом березы и 440 кг С/га с опадом других лиственных пород, преимущественно липы и рябины. Близкое поступление углерода с растительным опадом характерно для елово-липового леса, также поврежденного насекомыми-вредителями, – 2000 кг С/га, с преобладанием в составе опада остатков липы (1040 кг С/га) и сосны (220 кг С/га). Гораздо больше углерода поступило на поверхность почвы с опадом в березово-еловом лесу – 2860 кг С/га, в основном в составе остатков березы (980 кг С/га) и ели (590 кг С/га).

Закключение

Таким образом, в течение 2023 года с растительным опадом на поверхность лесных почв Звенигородской биостанции МГУ поступило 3660–5570 кг/га органического вещества, содержащего 1820 кг С/га в разреженном сосново-еловом лесу, 2860 кг С/га в березово-еловом лесу и 2000 кг С/га в молодом елово-липовом лесу. Результаты сравнительного анализа динамики и структуры поступления растительного опада в лесных БГЦ в настоящее время и в 2007–2009 годах свидетельствуют о значительных изменениях потока углерода в почвы, обусловленных частичной гибелью елей под воздействием короеда-типографа. Повышенная вероятность новых всплесков численности насекомых-вредителей в условиях изменения климата увеличивает опасность повреждения лесов и нарушений углеродного баланса, потенциально приводя к потере углерода лесными экосистемами.

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах" (рег. № 123030300031-6).

УДК 556.011

ПОЧВОПОДОБНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ В УДАЛЕНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОКСИКАНТОВ

Щеголькова Н.М.^{1,2}, Козлова М.А.²

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: nshegolkova@mail.ru;

²Институт водных проблем РАН, Москва, e-mail: mblshok@mail.ru

В последнее время всё большую роль в загрязнении биосферы играют поллютанты антропогенного происхождения. На данный момент известно огромное количество органических токсикантов (ОТ), и их количество постоянно растет. К ним относятся различные пестициды и фунгициды, синтетические ПАВ, пластификаторы и растворители, фармацевтические и косметические средства, красители, нефтепродукты и другие вещества, обладающие различной химической природой. Многие из них токсичны даже на уровне микропримесей. Многие ОТ проявляют мутагенную, канцерогенную, аллергенную и тератогенную активности. Ксенобиотики промышленного, бытового и сельскохозяйственного происхождения поступают в окружающую среду вместе со сточными водами. Сложные биомембранные и биосорбционные технологии могут удалять их из сточных вод, но обладают высокой стоимостью и не решают проблему дальнейшей утилизации отработанных элементов. Тем не менее, разложение ксенобиотиков может происходить в биологических фитоочистных сооружениях (ФОС). В данной работе приводится сравнение эффективности удаления ксенобиотиков в почвоподобных системах очистки – Constructed Wetlands / фитоочистных сооружениях (ФОС), а также сравнение эффективности удаления в ФОС и в сооружениях с активным илом (аэротенки и метантенки), где в результате очистки образуется осадок, все чаще применяемый для создания почвогрунтов.

По устойчивости к разложению в окружающей среде органические ксенобиотики можно разделить на две группы: 1) легко поддающиеся биоразложению (некоторые фракции нефти, спирты, альдегиды и т.д.); 2) персистентные ксенобиотики, разлагающиеся крайне медленно (например, хлорорганические пестициды).

Основными деструкторами ксенобиотиков в природных средах являются микроорганизмы (бактерии и грибы). Некоторые ксенобиотики первой группы полностью минерализуются до диоксида углерода и воды, а также аммиака, фосфатов и сульфатов (в зависимости от состава исходных соединений) в ходе таких процессов как окисление, денитрификация, метаногенез и сульфатредукция. Трансформация ксенобиотиков второй группы происходит в основном в процессах кометаболизма или соокисления, образуемые при этом продукты не включаются в метаболический цикл. Наконец, некоторые ароматические углеводороды и синтетические полимеры практически не поддаются биологической трансформации. В ФОС разложение ксенобиотиков осуществляется за счёт деятельности микробиологической и растительной составляющих (здесь присутствует две трофические цепи: детритная и пастбищная), в сооружениях с активным илом существует только детритная пищевая цепь и основную работу по разложению ОТ выполняют бактерии и грибы. В ФОС наблюдается чередование в пространстве аэробных и анаэробных условий, что способствует разложению ОТ. Основными процессами, в результате которых ксенобиотики подвергаются первичной деструкции под действием микроорганизмов, являются восстановление, окисление, деградация (разложение сложных

соединений до простых) и дегалогенирование. Все эти процессы могут протекать как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Огромную роль в разложении ксенобиотиков имеет растительная составляющая в ФОС. К ключевым механизмам разложения ксенобиотиков в ФОС относят 4 процесса: фитостабилизация, фитоаккумуляция, метаболизация, фитоиспарение. Исследования показали, что помимо микроэлементов растения способны аккумулировать органические загрязнители. Эффективность удаления органических токсикантов варьируется между 60 и 99%. Главную роль играют те процессы, которые осуществляются в сообществе «растение – ризосферные микроорганизмы». Более 40% продуктов фотосинтеза (сахара, флавоноиды и др.), продуцируемых растениями, способны секретироваться в ризосферу. В дополнение к сахарам и органическим кислотам, которые являются источниками энергии для микроорганизмов, некоторые продукты фотосинтеза стимулируют микробные сообщества, разлагающие поллютанты. Кроме того, некоторые ферменты (монооксигеназы, лакказы, трансферазы) способны разрушать устойчивые химические соединения (ПАУ, ПХБ, пестициды).

Сравнительный анализ эффективности удаления органических токсикантов в 4-х типах ФОС.

1. ФОС с открытой водной поверхностью (SF). Конструкция: неглубокий проточный водоем со свободной водной поверхностью, заселенный водной растительностью (рогоз, тростник, плавающие или погруженные растения). Условия: преобладают аэробные условия у поверхности и анаэробные в донных отложениях. Основные механизмы очистки: седиментация, фотолиз (разложение под УФ-излучением), микробная деградация в донном иле, поглощение растениями.

Эффективность удаления органических токсикантов:

Легкоразлагаемые соединения (спирты, фенолы): умеренная эффективность, достаточное время гидравлического удержания (ВГУ).

Стойкие ксенобиотики (пестициды, ЛВС): низкая/умеренная эффективность. Проблемы: ограниченный контакт стоков с основной зоной микробной активности (донный ил).

Высокий риск фитоиспарения летучих соединений (трихлорэтилен) без разложения.

Преимущества: высокое ВГУ позволяет протекать медленным процессам, включая фотолиз, что недоступно другим типам ФОС.

Для лекарственных препаратов наблюдается умеренная эффективность, которая зависит от типа вещества. Хорошо показывают себя системы с плавающими растениями (напр., азолла для антибиотиков). Таким образом, ФОС с открытой поверхностью подходят для доочистки стоков после предварительной обработки и удаления наиболее лабильных загрязнителей. Не являются оптимальными для сложных ксенобиотиков.

2. Horizontal Subsurface Flow CW (HSSF CW) / ФОС с горизонтальным подповерхностным потоком. Конструкция: стоки фильтруются горизонтально через слой пористого субстрата (гравий, щебень), в котором высажены растения, вода находится ниже поверхности.

Аэробные, анаэробные и анаэробные условия существуют в виде микрозон и чередуются.

Основные механизмы очистки: фильтрация, сорбция на субстрате, анаэробная микробная деградация, ризодеградация. Эффективность для легкоразлагаемых соединений органических токсикантов высокая. Для стойких ксенобиотиков существует высокая избирательная эффективность. Например, достаточно высокая эффективность удаления соединений, разлагаемых в анаэробных условиях через восстановительное дегалогенирование: трихлорэтилен (ТХЭ), тетрахлорэтилен, винилхлорид, некоторые хлорированные пестициды. Плохо удаляются соединения, требующие аэробного окисления: бензол, толуол, фенол, легкие ПАУ (нафталин).

Для лекарственных препаратов эффективность переменная: например, эффективна для лекарств, подверженных анаэробной биотрансформации. Для многих антибиотиков и полярных лекарств эффективность может быть недостаточной.

Таким образом, ФОС с горизонтальным подповерхностным потоком более пригодны для стоков, насыщенных галогенированными растворителями, но не для смесей, содержащих аэробно-разлагаемые вещества.

3. Vertical Flow CW (VF CW) / ФОС с вертикальным подповерхностным потоком.

Конструкция: стоки периодически подаются на поверхность и фильтруются через слой субстрата с корнями растений вертикально вниз. Условия: чередование аэробных и анаэробных условий. При дренировании между подачами в систему активно поступает кислород. Основные механизмы очистки: высокоэффективная аэробная микробная дегградация, нитрификация, сорбция. Эффективность для легкоразлагаемых органических соединений очень высокая. Это лучшая система для быстрого окисления. Для стойких ксенобиотиков: очень высокая для аэробно разлагаемых соединений, например, отлично удаляются бензол, толуол, этилбензол, ксилолы (БТЭК), фенол, легкие ПАУ (2-3 кольца), многие пестициды и фармацевтики, разлагаемые аэробными бактериями. Хуже удаляются соединения, для полного разложения которых требуются строго анаэробные условия (напр., полное восстановительное дехлорирование ПХБ). Эффективность удаления лекарственных препаратов высокая. Насыщение кислородом способствует окислению многих молекул препаратов. Является отличной первичной стадией для их дегградации.

Таким образом, ФОС с вертикальным подповерхностным потоком является лучшим выбором для удаления ароматических углеводородов, фенолов и многих лекарственных препаратов. Часто требуют второй стадии для денитрификации и анаэробных процессов.

4. Hybrid CW / Гибридные системы ФОС. Конструкция: комбинация двух или более различных типов ФОС (например, подповерхностные с вертикальным потоком + подповерхностные с горизонтальным потоком) для создания оптимальной последовательности условий. Условия: последовательная смена аэробных и анаэробных условий (или наоборот). Основные механизмы очистки: объединение всех преимуществ составляющих систем. Эффективность разложения легкоразлагаемых соединений максимальная. Для стойких ксенобиотиков – наивысшая.

Принцип работы:

1. 1-я ступень (VF CW): обеспечивает аэробное окисление легкоразлагаемой органики и трансформацию сложных молекул (ПАУ, пестициды, ароматические соединения) в более простые промежуточные продукты.

2. 2-я ступень (HSSF CW): обеспечивает анаэробное восстановительное разложение промежуточных продуктов и стойких галогенированных соединений, которые не разрушились на первой стадии.

Таким образом, гибридные системы целенаправленно используют синергизм между разными микробными процессами, обеспечивая высочайшую степень очистки.

Таким образом, не существует одного "лучшего" типа ФОС для всех органических токсикантов. Выбор системы должен основываться на специфическом составе загрязнителей. Однако для достижения максимальной и стабильной эффективности при наличии сложной смеси гибридные системы не имеют равных, так как они целенаправленно создают условия для последовательного разрушения самых разных классов опасных веществ.

Сравнение ФОС и сооружений с активным илом (АИ) показывает: 1) в сооружениях с АИ основным механизмом является биосорбция на хлопьях ила, 2) ВГУ составляет часы в отличие от ФОС, где ВГУ составляет сутки. В связи с этим эффективность сильно зависит от конкретного вещества и типа технологической схемы очистки, но большая часть ОТ проходят систему без изменений, переходя в сорбированное состояние в осадке сточных вод.

Процесс метанового сбраживания в метантенках является не только способом утилизации осадков и получения биогаза, но и мощным процессом деструкции многих органических токсикантов. Однако эффективность разложения сильно варьируется в зависимости от структур молекул и устойчивости к анаэробным условиям. В метантенках, где

доминируют строго анаэробные условия и работают специфические консорциумы микроорганизмов (включая метаногенные археи), разложение токсикантов происходит в основном за счет восстановительных процессов. Высокое время удержания (недели) и температура (мезофильная 35-40°C или термофильная 50-55°C) способствуют этим процессам.

Классы органических токсикантов, эффективно разлагаемых в метантенках - это легкоразлагаемая органика (высокая эффективность >90%), линейные алкилбензол-сульфонаты (компоненты моющих средств), хлорированные фенолы, нитроароматические соединения, некоторые пестициды (атразин, линдан), ПАУ, фталаты. Таким образом, метантенки — один из самых эффективных способов обезвреживания этих соединений.

Однако, известны соединения, которые не разлагаются в метантенке, либо разлагаются крайне медленно и могут накапливаться в сброженном осадке или ингибировать процесс метанового сбраживания. Это полихлорированные бифенилы (ПХБ), диоксины и фураны, перфторированные соединения, некоторые антибиотики (хлорамфеникол, сульфаниламиды), полиэтилен, ПВХ, полистирол.

С внедрением в аэротенках процесса нитри-денитрификации («кейптаунского процесса») для удаления азота повысилась эффективность удаления органических токсикантов.

Создание трех зон (аэробной, анаэробной и аноксидной) позволило значительно повысить биоразнообразие бактериального сообщества АИ. Кейптаунский процесс создает, например, оптимальные условия для селекции дехлорирующих микроорганизмов.

Происходит стимуляция консорциума *Dehalococcoides*, которые (одни из немногих) способны к полному восстановительному дехлорированию ПХБ и диоксинов.

Сравнительная таблица эффективности разложения некоторых групп органических токсикантов в разных очистных системах

Класс токсикантов / Примеры	ФОС (SF)	ФОС (HSSF)	ФОС (VF)	ФОС (Гибри дные)	Аэротенк (без нитрифика ции)	Кейптаун ский Процесс	Метантенк
Легкоразлагаемая органика (БПК)	СВ	В	В	В	В	В	В
Полиароматические углеводороды (ПАУ): Легкие (Нафталин)	С	С	СВ	В	СВ	С	С
Полиароматические углеводороды (ПАУ): Тяжелые (Пирен)	Н	Н	С	СВ	С	Н	Н
Пестициды (Атразин, Линдан)	С	С	СВ	В	С	В	С
Полихлорированные бифенилы (ПХБ)	Н	Н	Н	С	Н	В	Н
Диоксины	Н	Н	Н	Н	Н	В	Н
Антибиотики	С (аккумуляция)	С (трансформация)	СВ	В	С (риск ингибирования)	И (риск ингибирования)	И (риск ингибирования)
Ключевой механизм	Фотол из,	Анаэроб ное	Аэробно е	Синерг ия аэроб./	Аэробное окисление	Насыщен ное окисление	Анаэробно е

Класс токсикантов / Примеры	ФОС (SF)	ФОС (HSSF)	ФОС (VF)	ФОС (Гибри дные)	Аэротенк (без нитрифика ции)	Кейптаун ский Процесс	Метантенк
	<i>осажд ение</i>	<i>восстан овление</i>	<i>окислени е</i>	<i>анаэро б.</i>		<i>/восстано вление</i>	<i>восстанов ление</i>
Основной принцип	Естест венные процес сы, долгое ВГУ	Восстан овитель ное дехлори рование	Окислен ие, кометаб олизм	Послед овател ьная деград ация	Высокая скорость окислени я	Полное окисление и/или восстанов ление	Восстанов ительное дехлориро вание, метаноген ез

Условные обозначения по эффективности в таблице:

В (Высокая): > 90% удаления или полная минерализация
 СВ (Средне-Высокая): 70-90% удаления
 С (Средняя): 30-70% удаления
 Н (Низкая): < 30% удаления или в основном сорбция
 И (Ингибирование): Высокий риск подавления биологического процесса

Таким образом, наибольшей универсальностью и эффективностью для широкого спектра токсикантов обладают гибридные ФОС и кейптаунский процесс. Они целенаправленно создают последовательные условия (аэробные/анаэробные или наоборот), что позволяет разрушать сложные смеси. ФОС с вертикальным подповерхностным потоком и аэротенки лидируют в аэробном окислении (бензол, фенолы, легкие ПАУ). ФОС с горизонтальным подповерхностным потоком, метантенки и аэротенки с внедренным процессом нитриденитрификации («кейптаунский процесс») исключительно эффективны для восстановительного деchlorирования (хлорированные растворители). При этом, выбор технологии напрямую зависит от состава загрязняющих веществ.

УДК 631.4

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЧВ И ЗЕМЕЛЬ, КАК САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, И ВОПРОСЫ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА

Яковлев А.С.¹, Евдокимова М.В.

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: yakovlev_a_s@mail.ru

В рамках современного законодательства почвы и земли рассматриваются в качестве самостоятельных компонентов окружающей среды, что предполагает учет их особенностей в реализации природно-ресурсных функций. Такое разделение должно опираться на самостоятельную законодательную базу как земельно-ресурсного, так и природоохранного направления. Тем не менее ни в научной, ни в производственной сферах страны до настоящего времени не сложилось четких представлений о разделении функций почв и земель в системе оценки, нормирования и управления их качеством. Такая ситуация приводит к смешению понятий и определенной путанице в управлении современным природопользованием и охраной окружающей среды (ОС). Опираясь на сложившийся научно-практический опыт и существующую законодательную базу в области природопользования, мы попытались выделить специфические особенности функционирования почв и земель как самостоятельных компонентов ОС, учитывая аспекты их связи и взаимодополнения. Особое внимание в этом направлении было уделено вопросам экологической оценки и нормирования, основанных на представлениях о системе ноосферного развития экосистем и экологического функционирования почв.

Известно, что существующая схема как экологического, так и санитарно-гигиенического нормирования качества компонентов ОС базируется, с одной стороны, на качественной и количественной характеристике присущего им физического, химического и биологического состояния, с другой стороны, на характеристике их взаимосвязи с сопредельными средами (почва, атмосфера, гидросфера, биота, литосфера). Опираясь на это правило, экологическое функционирование природных сред достаточно условно можно разделить на внутреннее и внешнее функционирование. Указанный подход может быть применен в экологической оценке и нормировании качества не только почв, но и земель, представленных земельными участками разного масштаба, подтверждением чего может служить схема взаимодействия почв с сопредельными природными средами, приведенная Г.В. Добровольским и Е.Д. Никитиным в их классическом учебнике «Учение об экологических функциях почв».

В этой связи внутреннее функционирование почв обусловлено жизнедеятельностью почвенной биоты с учетом направлений в изменении физического, химического и биологического состояния почв, а внешнее — взаимодействием почв с окружающими ее сопредельными природными средами.

В свою очередь, внутреннее функционирование земель в границах земельных участков может быть охарактеризовано по результатам комплексной оценки физического, химического и биологического состояния природных комплексов земель.

Соответственно, внешнее функционирование каждого земельного участка может быть представлено как прямая и обратная связь его природного комплекса земель (ПКЗ) с природными комплексами сопредельных с ним земельных участков (рис. 1).

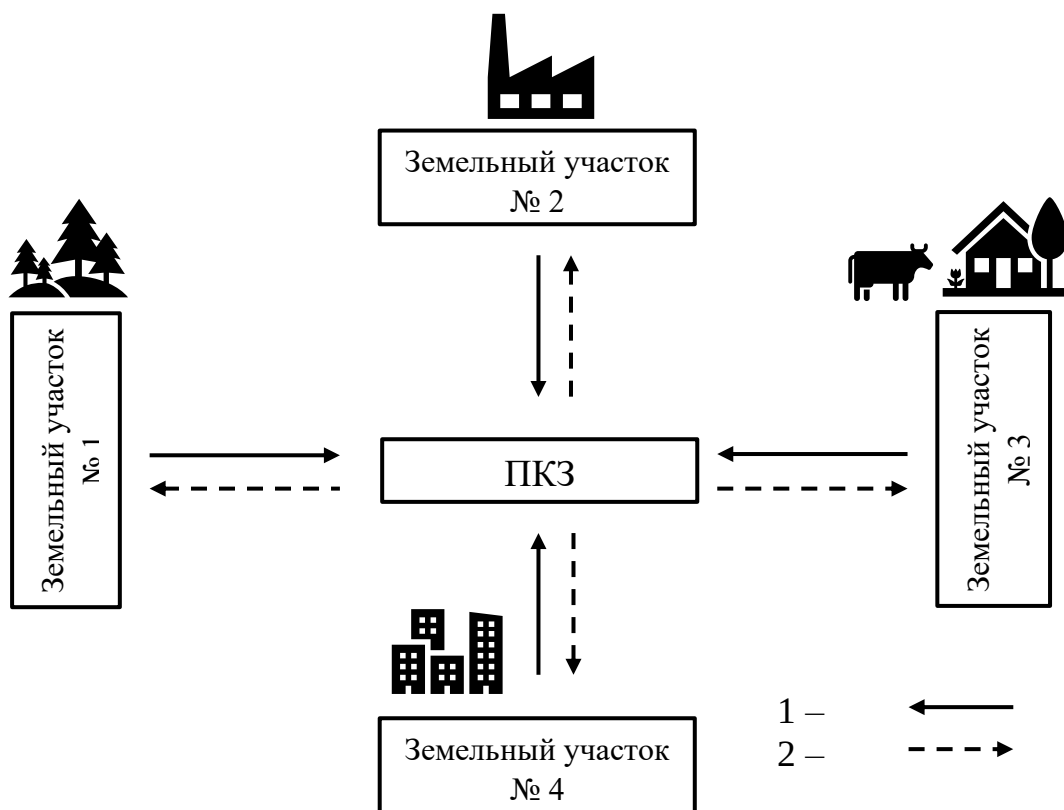


Рис. 1. Прямые и обратные связи ПКЗ с прилегающими земельными участками различного хозяйственного назначения: 1 — прямые связи; 2 — обратные связи

При этом если закономерности формирования и распространения почв в пространстве обусловлены законами природы, то границы земельных участков как объектов права собственности определяются человеком в порядке, установленном Земельным кодексом Российской Федерации, Федеральными законами «О государственной регистрации

недвижимости», «О кадастровой деятельности» и другими документами. В данном случае можно проследить практическую реализацию идей В.И. Вернадского о ключевой роли антропогенного фактора в формировании современной ноосферы (сферы разума). Биосфера не эволюционировала в ноосферу, но определенные попытки со стороны мирового сообщества осуществляются. В частности, ООН провозглашены цели устойчивого развития как фундамент управленческих решений для преодоления экономических пределов роста, в основу которых положены намерения направить формирующийся технологический уклад не на рост потребления, а на решение глобальных проблем в экологии и социально-экономической сфере. Так, созвучным проблемам был посвящен доклад Римскому клубу «Преодолевая пределы роста», подготовленный группой ученых МГУ имени М.В. Ломоносова, препринт которого был представлен 23 марта 2022 г. в рамках спецсеминара «Время, хаос и математические проблемы» в МГУ ректором, академиком РАН В.А. Садовничим и иностранным членом РАН А.А. Акаевым. На спецсеминаре обсуждалась концепция «планетарных границ», определяемых как «безопасное пространство для развития человечества». Данное пространство формируется в результате разумной деятельности человека, которая опирается на систему правил выработки согласованных решений.

Так, земельный участок с учетом категории его целевого назначения несет определенное антропогенное влияние на сложившийся в рамках его территории ПКЗ и природу сопредельных с ним земель (рис. 1). Например, земельные участки, выделенные под земли промышленности и транспорта, ограниченные только санитарно-защитными зонами, могут оказывать существенное влияние на природный комплекс сопредельных с ними земель, в том числе особо охраняемых территорий, сельскохозяйственного и селитебного назначения, соответствующих более высоким экологическим требованиям. В этой связи ответственность предприятий не должна ограничиваться только санитарными нормами. Важно также охарактеризовать экологические риски для природных сред сопредельных земельных участков. Здесь можно говорить о необходимости выделения не только санитарно-защитных, но и природно-защитных зон. В данном случае регулирование негативного межтерриториального воздействия предполагает проведение экологической экспертизы проектов землеустройства с предварительным проведением оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Необходимо отметить, что данная процедура в практике землепользования проводится достаточно выборочно и крайне редко. Экологическая оценка и нормирование качества почв проводится по химическим, физическим и биологическим показателям их состояния. В этой связи достаточно успешно оценивается внутренняя составляющая функционирования почв, в то же время неразвитым остается направление исследования их внешнего функционирования, т. е. взаимосвязи почв с сопредельными средами: атмосферным воздухом, водными объектами, животным, растительным миром и недрами. В частности:

- слабо изучены природные связи между почвенным покровом и подпочвенными геологическими слоями, например явления сквозного проникновения токсикантов (нефтепродуктов, пестицидов и т. д.) в породы и водные среды;
- не до конца решенными остаются вопросы оценки допустимых изменений качества почв при лесо- и торфозаготовке с учетом перспектив естественного самовосстановления ландшафтов, в том числе почв;
- дополнительного внимания требуют работы в области изучения функциональных связей при контакте почв, водных сред и земноводных ландшафтов в условиях загрязнения земель;
- в районах промышленных объектов и городских агломераций актуальны углубленные исследования функциональной связи между качеством атмосферного воздуха и состоянием почв на землях всех категорий (ООПТ, сельскохозяйственного назначения, под лесом и др.). При этом особого

внимания заслуживает разработка новых методов экологической оценки почв на основе данных дистанционного зондирования Земли и подспутниковых измерений;

- нуждаются в расширенном изучении аспекты контакта почв и других компонентов ОС с отходами производства и потребления, в частности, в условиях распространения практики сброса условно чистых вод на рельеф, а также размещения хвостохранилищ в естественных и искусственных понижениях рельефа.

Кроме того, параллельного развития не получило соответствующее законодательное и управленческое направление в рассматриваемой области. Так, до сих пор не утверждены федеральный закон «Об охране почв» и нормативно-правовые акты, устанавливающие правила оценки и нормирования качества почв в условиях их внутреннего и внешнего функционирования, что значительно затрудняет регулирование их экологического состояния при осуществлении государственного экологического контроля (надзора), а также при проведении экологического мониторинга и экспертизы.

Экологическая оценка и нормирование качества земельных участков осуществляются на основе экологических показателей состояния компонентов ОС, входящих в их ПКЗ (атмосфера, гидросфера, биота, почва), представленных в границах земельного участка (рис. 1). В развитии этого направления сделано крайне мало как в научно-практической, так и нормативно-правовой части.

В заключение необходимо подчеркнуть, что в современных условиях активно меняется уровень и вектор антропогенной нагрузки на окружающую среду. В этой связи необходим постоянный научный анализ и изучение движения границ допустимой устойчивости почв и земель с поиском их экологически безопасного и оптимального с позиции сложившейся системы землепользования положения в пространстве.

В этой связи речь идет не только о санитарно-гигиенических нормах в виде санитарно-защитных зон, но и о природоохранном зонировании территории и формировании природоохранного пространства вокруг объектов активно меняющегося антропогенного воздействия на ОС. Такой подход вполне созвучен идее преодоления экономических пределов роста с акцентом не на рост потребления, а на решение глобальных проблем в экологии и социально-экономической сфере.

УДК 631.4

БИОИНДИКАЦИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ АЗОТОБАКТЕРА ГОРОДСКИХ ПОЧВ БОРИСОГЛЕБСКА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Янов А.В., Свистова И.Д.

Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж, e-mail

yanovalek@yandex.ru, i.svistova55@mail.ru

Урбоэкосистемы – особые природно-техногенные экосистемы с наиболее выраженным антропогенным воздействием. Для городских почв предложена особая классификация: физически и химически преобразованные почвы, урбаноземы, реплантоземы, индустриземы и др. (Т.Я. Ашихмина, 2006). В последние годы много работ посвящено биоиндикации почвы крупных городов (Москва, Воронеж, Новосибирск, Ростов-на-Дону). Показано, что наиболее чувствительными являются биотесты с использованием микроорганизмов (Звягинцев Д.Г. и др., 2005).

Практически нет исследований по почвам малых городов России. Остается неясным биоиндикационный потенциал нарушения состава и функционирования микробиома почвы для оценки более низкого уровня городской нагрузки.

Азотфиксация (включение азота атмосферы в органические соединения) – это уникальный биологический процесс, который осуществляют только прокариоты, узкая группа бактерий-азотфиксаторов, имеющих особый фермент нитрогеназу. Азотфиксаторы –

единственные продуценты в круговороте азота. Известно, что под влиянием антропогенных воздействий (переуплотнение, загрязнение и обработка почвы) процесс азотфиксации в почве нарушается, т.е. эта группа микроорганизмов может использоваться в качестве биотеста (В.А. Терехова, Т.Я. Ашихмина, 2013).

Целью работы было изучение влияния городской нагрузки на содержание и ростовые характеристики бактерий-азотфиксаторов в почве г. Борисоглебска (северо-восток Воронежской области, население 58 тыс. человек).

Пробы почвы отбирали из слоя 0-20 см в городских зонах с разным уровнем антропогенной нагрузки: рекреации, селитебная зона (частный сектор, многоэтажная застройка), промышленная зона (мясокомбинат, ремонтно-авиационный завод, металлургический завод), транспортная зона (на расстоянии 1-2 м от полотна городских автодорог и проходящих через город железнодорожного полотна и автомагистралей федерального значения Р-22 «Каспий»). Фоном служила почва пригородной зоны (чернозем типичный).

В черноземной зоне основным азотфиксатором является бактерия *Azotobacter chroococcum* с характерными культуральными и морфологическими признаками. Содержание азотобактера определяли по Е.З. Теппер (2004); количество комочков почвы, обросших слизистыми колониями с темно-коричневым пигментом на безазотистой среде Эшби, подсчитывали на 7 сутки роста и выражали в процентах. На препаратах обнаруживали микрококки, часто диплококки, окруженные капсулой.

Использовали также показатель роста колоний, измеряли их диаметр. Ранее нами обнаружен токсический эффект городских почв г. Воронежа в виде ингибирования роста азотобактера под влиянием почвенных микромицетов (С.С. Астанин, И.Д. Свистова, 2025).

Пределы варьирования показателей содержания и ростовых характеристик азотобактера в городской почве Борисоглебска представлены в таблице.

Фоновое содержание азотобактера было высоким, что характерно для чернозема, показатели выравнены по точкам отбора проб, например, коэффициент мозаичности почвы по показателю среднего диаметра колоний составлял 1,2.

В почвах Борисоглебска содержание азотобактера было достаточно стабильным, снижалось только в отдельных точках промышленной зоны и вблизи федеральной автомагистрали. Более информативным параметром оказался показатель диаметра колоний азотобактера, т.е. ростовые характеристики данного тест-организма.

Таблица.

Содержание азотобактера (min – max) в почве городских зон Борисоглебска с разным уровнем нагрузки

Городские зоны	Содержание азотобактера, %	Диаметр колоний, мм
Пригородная зона (фон)	90-94	5,7-6,9
Рекреации	97-100	5,9-10,2
Селитебная зона	99-100	9,6-10,6
Промышленная зона	84-99	3,3-7,6
Транспортная зона	90-96	5,3-5,9
Федеральная автомагистраль Р-22 «Каспий» в черте города	64-66	2,2-2,6
Ж/д полотно в черте города	90-92	3,9-6,0

В городских рекреациях, особенно после недавней реновации, средний диаметр колоний азотобактера в отдельных точках возрастал в 1,7 раза, а коэффициент мозаичности составил 1,7. Наиболее высокие значения были на газонах с подсыпкой привозной почвы (реплантоземы).

В селитебной зоне города, в частном секторе, ростовые характеристики колоний азотобактера стабильно возрастали (в 1,5-1,7 раза при коэффициенте мозаичности почвы

1,1). Вероятно, это связано с обогащением поверхностно-преобразованной почвы органическими веществами на приусадебных участках.

В почве промышленной зоны города (урбанозем, индустриезем) обнаружили высокое варьирование данного показателя (коэффициент мозаичности 2,3), при этом выявлены точки как с превышением фоновых значений, так и участки, где рост колоний ингибирован. По-видимому, это отражает локальное загрязнение почвы вблизи предприятий разных отраслей (пищевое производство, тяжелая промышленность).

В транспортной зоне с невысокой интенсивностью движения автотранспорта негативных тенденций по биотестированию почвы не выявлено. Однако вблизи полотна железной дороги (индустриезем) обнаружено угнетение скорости роста азотобактера до 1,5 раз по сравнению с фоном, а вблизи федеральной автомагистрали Р-22 «Каспий» в черте города – в 2,4-2,6 раза. В последнем случае в 1,5 раза снижалось также и содержание азотобактера в почве.

Таким образом, для биоиндикации нарушения микробного сообщества почвы малого города традиционно рекомендуемый показатель биотеста - содержание азотобактера по обрастанию почвенных комочков (в %) - оказался малоинформативным. В качестве чувствительного биотеста для экологического картирования почвы в разных зонах г. Борисоглебска целесообразно определять ростовые характеристики азотобактера, в частности, показатель среднего диаметра колоний.

Негативные тенденции (ингибирование роста колоний азотобактера) усиливаются в ряду городских почв по мере возрастания антропогенной нагрузки, а именно в ряду рекреации < селитебные зоны < промышленные и транспортные зоны города. Наиболее ингибирован рост колоний азотобактера в почве в зоне влияния проходящей через город федеральной автомагистрали Р-22 «Каспий».

Секция 3. Продуктивность агроэкосистем и продовольственная безопасность

УДК 631.46

ПОЙМЕННЫЕ ПОЧВЫ СЕВЕРА И ИХ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Балабко П.Н.¹, Лаптева Е.М.², Панюков А.Н.², Холопов Ю.В.², Кутузова И.А.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: balabkopetr@mail.ru;

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: laptewa@ib.komisc.ru

Речные долины северных регионов – уникальный природные ландшафты, характеризующиеся высокой плотностью жизни. Несмотря на сравнительно небольшие площади (2-5%, занимаемых пойменными террасами рек, они в жестких климатических условиях Арктики и Субарктики были основой создания местной продовольственной базы и поддержания традиционной хозяйственной деятельности коренных народов Севера.

Продуктивность заливных лугов, развитых на пойменных террасах северных рек, составляла в благоприятные по погодным условиям годы до 20-30 ц/га высококачественного сена. Активное использование пойменных ландшафтов в сельскохозяйственном производстве в течение второй половины XX века привело к закономерной деградации пойменных лугов, включая формирующиеся на пойменных террасах аллювиальные почвы. Значительная пастбищная нагрузка, нарушение сроков сенокоса, распаивание эрозионноопасных участков пойменных террас и дисбаланс во внесении минеральных удобрений для поддержания плодородия пойменных почв стали причиной не только снижения биологической продуктивности лугов (в частности, в пойме Печоры она снизилась с 39-40 ц/га до 9-30 ц/га сухой надземной массы в зависимости от высотного уровня поймы), но и деградации пойменных почв. Последнее выразилось в ухудшении их гумусного состояния (снижении содержания и запасов почвенного органического вещества), снижении содержания и запасов ряда биофильных элементов (N, K, Ca, Mg) и выраженном зафосфачивании аллювиальных почв, в первую очередь песчано-супесчаных почв прирусловых валов.

В условиях экономического кризиса, начиная с 90-х годов прошлого столетия, многие пойменные угодья на территории северных регионов России были выведены из сельскохозяйственного производства. Сокращение числа сельскохозяйственных организаций в северных регионах, резкое уменьшение поголовья крупного рогатого скота обусловили существенное снижение агрогенной нагрузки на пойменные угодья рек Печоры, Северной Двины, Мезени, Оби, Лены и др. Повсеместно начался процесс их зарастания кустарниками и древесной растительностью, восстановления естественного круговорота веществ в пойменных биогеоценозах, восстановления пищевого режима и продуктивности аллювиальных почв, что требует оценки современного состояния пойменных ландшафтов Севера.

Цель данной работы заключалась в выявлении особенностей изменения продуктивности и плодородия пойменных почв, формирующихся в долине нижнего течения р. Печоры. Исследования проводили в Ненецком автономном округе, в районе г. Нарьян-Мара и вблизи южной границы государственного заповедника «Ненецкий». В низовьях Печоры пойменная терраса хорошо развита, составляет более 20 км в районе г. Нарьян-Мар и более 40 км – при впадении Печоры в Коровинскую губу. Территория поймы изрезана многочисленными протоками, курьями и старицами, образующими различные по площади острова как в пределах пойменной террасы, так и в русле реки. Объектами исследования послужили фитоценозы и почвы островной поймы (о-ва Матвеев, Киселичный, Верхний, безымянный остров между протоками Козлюков Шар и Бецабицер Шар), а также участки пойменной террасы вблизи дер. Макарово и дер. Куя. При проведении исследований использовали традиционные методы геоботаники и почвоведения.

Как показали проведенные исследования, пойменные луга в низовьях Печоры продолжают использоваться местными сельскохозяйственными организациями в качестве сенокосов и пастбищ). Это относится в первую очередь к пойменным массивам в окрестностях г. Нарьян-Мар (пойма вблизи дер. Макарово, о-в Матвеев, о-в Киселичный). Однако определенная часть сенокосных угодий за последние годы выведена из агрорежима, например, участки поймы вблизи дер. Куя. На таких участках зафиксированы начальные этапы колонизации лугов древесными растениями. В нижнем течении Печоры первоочередное участие в зарастании луговых массивов принимают виды *Salix* и *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar, что отражает специфику ботанико-географической подзоны. Для сравнения, в среднем течении Печоры основную роль в качестве колонизаторов лугов играют *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Karst. и *Betula pubescens* Ehrh.

Биологическая продуктивность пойменных лугов в долине нижнего течения р. Печора варьирует в широких пределах, в среднем составляя 37.1 ± 11.2 ц/га сухой надземной биомассы. В зависимости от участка поймы, типа фитоценоза и типа почвы, определяющего условия питания растений и уровень их обеспеченности влагой, продуктивность пойменных луговых сообществ меняется от 14.3 ± 5.6 ц/га до 72.7 ± 24.5 ц/га. Минимальные значения ($14.3\text{--}33.1$ ц/га) фитомассы пойменных лугов отмечены на участках пойменной террасы, активно используемых в сельскохозяйственном производстве (окрестности дер. Макарово и о-в Матвеев). Несколько выше продуктивность, сопоставимая с луговыми сообществами, представленными на островах в дельте Печоры ($35.6\text{--}72.7$ ц/га), зафиксирована на пойменных лугах о-ва Киселичный ($48.1\text{--}63.7$ ц/га). На заброшенных участках поймы в окрестностях дер. Куя, где в настоящее время происходит активное зарастание лугов ивой, продуктивность фитоценозов находится на уровне 32.8 ± 14.3 и 33.7 ± 11.0 ц/га.

Почвы, формирующиеся на пойменных террасах Печоры и ее притоков, считаются лучшими и наиболее плодородными почвами в пределах зонально-климатических подзон тундры и тайги. В низовьях Печоры в формировании пойменных почв ведущую роль играет аллювиальный процесс (седиментогенез), что диагностируется по наличию

сочетания прослоек песка, супеси и суглинка в профилях почв не только дернового, но и лугового и лугово-болотного типов. В связи с этим, межгрядные понижения в пределах островной поймы и пересыхающие русла проток заняты аллювиальными луговыми слоистыми и аллювиальными лугово-болотными слоистыми почвами. Профиль аллювиальных луговых почв испытывает дополнительное увлажнение за счет почвенно-грунтовых вод, зеркало которых находится на глубине 1.5-2 м. Насыщенность нижней части профиля влагой обуславливает развитие глеевых процессов, которые в условиях нижнего течения р. Печоры могут охватывать практически весь профиль аллювиальных луговых почв. Однако слоистость профиля, наряду с легким гранулометрическим составом почв, занимающих глубокие межгрядные понижения и пересыхающие временные водотоки, обуславливает достаточно быстрый сброс почвенно-грунтовых вод в послепагодковый период даже в отрицательных элементах рельефа поймы. Благодаря этому, в межгрядных понижениях могут складываться относительно благоприятные условия аэрированности верхних горизонтов аллювиальных луговых слоистых и аллювиальных лугово-болотных слоистых почв, что обуславливает развитие здесь высокопродуктивных канареечниковых и разнотравно-канареечниковых лугов. В глубоких депрессиях, при близком залегании почвенно-грунтовых вод (в первом полуметре профиля), формируются супесчаные или суглинистые аллювиальные лугово-болотные почв, в профиле которых присутствуют глеевые горизонты, или четко выражены в пределах всего профиля морфохроматические признаки оглеения. Такие почвы развиты под наиболее влаголюбивыми осоковыми сообществами.

Вершины гряд, особенно повышенные элементы рельефа вблизи русла Печоры и ее многочисленных проток, занимают аллювиальные дерновые примитивные слоистые и аллювиальные дерновые слоистые почвы. Их специфической особенностью является присутствие следов оглеения, особенно в суглинистых прослойках, входящих в состав подстилающего слоистого аллювия. Морфохроматические признаки процессов оглеения (ржавые, охристые и сизые пятна) свидетельствуют о периодическом переувлажнении аллювиальных дерновых слоистых почв в низовьях Печоры, обусловленном их формированием в более жестких биоклиматических условиях лесотундры и тундры, чему способствуют большое количество выпадающих осадков при более низких температурах в течение вегетационного периода и, соответственно, слабой испаряемости.

По физико-химическим показателям они сохраняют свойства, характерные для аллювиальных почв долины нижнего течения р. Печора. Практически все исследованные нами почвы характеризуются сильнокислой реакцией среды. В отдельных случаях, а также в дерновых горизонтах (глубина 0-5 см) среда средне- или слабокислая. Специфической особенностью аллювиальных лугово-болотных почв является повышение кислотности в нижней части профиля (рис. 7А), что может быть обусловлено влиянием почвенно-грунтовых вод и активным протеканием процессов глееобразования. Несмотря на значительную кислотность аллювиальных почв, их дерновые и гумусоаккумулятивные горизонты характеризуются средней (50-70%) и повышенной (70-90%) степенью насыщенности основаниями, что определяется средним и повышенным содержанием здесь обменных катионов кальция (от 6 до 16 ммоль/100 г почвы) и магния (от 1 до 3 ммоль/100 г почвы).

Содержание и профильное распределение гумуса в аллювиальных почвах исследованных пойменных лугов определяется спецификой их генезиса. В аллювиальных дерновых почвах гумусовый профиль охватывает верхнюю 0-15-сантиметровую толщу (содержание Сорг. 1.2-2.5%), в аллювиальных луговых почвах – верхнюю полуметровую толщу (Сорг. 1.1-1.3%), в аллювиальных лугово-болотных почвах – 0-5(15) сантиметровую толщу (Сорг. 1.0-1.8%). Наличие погребенных горизонтов в аллювиальных дерновых слоистых почвах обуславливает полимодальное распределение гумуса в профиле и наличие на глубине 20-40 см вторых пиков в содержании Сорг. порядка 0.8-1.2%.

Таким образом, в ходе проведенных исследований оценено современное состояние пойменных лугов, занимающих различные элементы пойменной террасы (включая островную пойму) в нижнем течении р. Печора. Дана характеристика флористического состава лугов, определена их биологическая продуктивность. Показано, что по величине сухой надземной фитомассы пойменные луга на современном этапе их формирования характеризуются значительным варьированием, определяемым как особенностями природопользования в долине р. Печора, так и спецификой формирующихся здесь аллювиальных почв. Аллювиальные почвы в нижнем течении р. Печора как на участках пойменных лугов с их активным сельскохозяйственным использованием, так и на участках с минимальным антропогенным влиянием близки по своим физико-химическим свойствам и соответствуют зональным чертам аллювиальных почв Севера – почвы сильнокислые с невысокой мощностью гумусового профиля и сравнительно невысокими значениями органического углерода в гумусоаккумулятивных горизонтах. Наличие значительного количества ветоши на поверхности аллювиальных почв, приуроченных к массивам выведенных из агропользования пойменных лугов, позволяет сделать вывод о восстановлении естественного биологического круговорота веществ в пойменных биогеоценозах Печоры, характеризующегося заторможенностью процессов минерализации растительного опада, и восстановления естественного, природного пищевого режима и продуктивности аллювиальных почв.

УДК 631.46

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ ОТКРЫТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ

Браулов П.А.¹, Шилов П.М.¹, Фомин Д.С.¹

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, e-mail: pavelbraulov@yandex.ru

Актуальность. Использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) получило широкое распространение в почвенных исследованиях. Одним из направлений применения ДЗЗ является создание композитов (синтетических изображений) открытой поверхности почвы за длительный период времени. Эта техника успешно применяется для пространственного моделирования различных почвенных свойств и классификационных единиц методами цифровой почвенной картографии, однако на текущий момент не существует единой методологии использования композитов открытой поверхности почвы. В работе предлагается подход к выделению открытой поверхности почвы на основе пороговых значений спектральных индексов, который используется для картографирования фракций гранулометрического состава и органического вещества для территории отдельного хозяйства.

Цель исследования. Оценка возможности выделения открытой поверхности почвы на основе пороговых значений спектральных индексов и применения композита открытой поверхности почвы для построения карт гранулометрического состава и содержания почвенного органического вещества.

Объект исследования. Сельскохозяйственные производственные угодья общей площадью 1000 га, относящиеся к Северо-Кавказскому федеральному научному аграрному центру. Территория расположена в Шпаковском районе Ставропольского края, в пределах Ставропольской возвышенности. Геоморфологически объект исследования включает часть водораздельной поверхности и склона долины. Климатические условия характеризуются как очень тёплые по теплообеспеченности и недостаточно влажные по влагообеспеченности. Почвообразующие породы представлены лёссами, лессовидными и делювиальными отложениями, элювием известняков-ракушечников и песчаников.

Территория относится к зоне обыкновенных и южных чернозёмов степного типа.

Методы исследования. В полевых условиях проведено описание почвенного покрова и отбор образцов как в почвенных разрезах (10 точек), так и буровым методом (37 точек).

Система размещения точек построена по принципу латинского гиперкуба с учётом

морфометрических характеристик рельефа и среднемноголетнего NDVI. Определение гранулометрического состава осуществлялось методом лазерной дифракции (классификация USDA). Для анализа отражательной способности использовались предобработанные спутниковые данные Landsat 8 (Level-2) с дополнительной фильтрацией облачности. Снимки классифицировались вручную по трём классам: открытая поверхность почвы, зелёная растительность, нефотосинтезирующая растительность. Для выделения открытой поверхности применялись индексы NDVI, NBR2 и BSI, а оптимальные пороговые значения рассчитывались по максимальному значению F1-score. В качестве признаков для моделирования использовались статистические характеристики (среднее, медиана, стандартное отклонение, значения квартилей и межквартильный размах) по шести спектральным каналам. Итоговая регрессионная модель формировалась на основе наиболее информативных признаков, определённых по средним коэффициентам линейной регрессии, с исключением мультиколлинеарных. Наилучшая модель для каждого свойства выбиралась на основе метрик из перечня: линейная регрессия, k ближайших соседей, случайный лес, градиентный бустинг, Cubist. Оценка качества проводилась по метрикам R^2_{adj} и MAPE с использованием кросс-валидации (5 выборок 80:20). При построения итоговой модели участвовали все точки.

Результаты. Эффективность спектральных индексов при разделении открытой поверхности почвы и растительных классов существенно различалась. Наименьшие значения F1-score продемонстрировал NDVI (0.87), более высокие — NBR2 (0.94) и BSI (0.98). Ограниченность NDVI объясняется слабой дифференцирующей способностью RED и NIR каналов между почвой и нефотосинтезирующей растительностью. Наиболее результативным оказался индекс BSI, оптимальное пороговое значение которого (0.18) применялось при построении композитов. Наиболее эффективными оказались модели линейной регрессии и Cubist (является набором линейных регрессий), другие модели показали меньшие оценки качества и стабильность. В модель гранулометрического состава для песка и глины включены композиты среднего значения и стандартного отклонения канала SWIR2 (2080–2350 нм). Для пылевой фракции использовалась разностная модель ввиду меньших значений качества. Для модели содержания углерода использовался только средний композит SWIR2. Метрики итоговых моделей для песка, ила и почвенного органического углерода составили соответственно: R^2_{adj} 0.81, 0.77 и 0.74, MAPE: 16%, 12.5%, 14.9%.

Выводы. 1. Использование порогового значения спектрального индекса BSI позволило эффективно отделять открытую поверхность почвы от других классов наземного покрова ($F1\text{-score} = 0.98$). Полученные композиты обладают значительной мультиколлинеарностью.

2. Полученные композиты отражательной способности позволили предсказать почвенные свойства поверхностного горизонта с высокой точностью (R^2_{adj} песка, пыли, ила и почвенного органического углерода 0.81, 0.77, 0.77 и 0.74 соответственно). Наиболее эффективной оказалась линейная модель. 3. Использование рассмотренного подхода на других территориях может быть эффективным при моделировании почвенных свойств методами цифровой почвенной картографии.

УДК 631.95 : 631.4

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И МОНИТОРИНГ ПОЧВ С РАЗВИТИЕМ СППР
ДЛЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ
Васенев И.И.

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, vasenev@rgau-msha.ru

Агроэкологический мониторинг почв представляет собой согласованную с инициатором проведения систему специально организованных во времени и пространстве наблюдений за основными диагностическими параметрами агроэкологических функций почв и

связанных с ними других компонентов агроэкосистем – с целью выработки рекомендаций по устойчивой оптимизации их использования, сохранения и, в случае необходимости, восстановления.

На практике он нацелен на информационно-методическое обеспечение актуальных задач минимизации экологических и экономических рисков сельскохозяйственного производства, устойчиво рентабельное получение продукции почвенно-агроэкологически обоснованного количества и требуемого качества, сохранение необходимого уровня выполнения основных экологических функций и экосистемных сервисов почв как базовых компонентов наземных агроэкосистем локального и регионального уровня.

К целевым задачам экологически сбалансированного сельскохозяйственного производства, адаптируемого к регионально-типологическим особенностям почвенного покрова, местным условиям агроландшафта и текущим запросам рынка готовой продукции, которые решаются с помощью агроэкологического мониторинга, относятся: (а) минимизация экологических и агроэкологических рисков сельскохозяйственного природопользования при повышении его экономической эффективности и рациональной интенсивности; (б) устойчивое увеличение урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных; (в) оптимизация размещения сельскохозяйственных культур и сортов, целесообразное (по текущим запросам рынка) оперативное расширение площадей их возделывания; (г) гарантированное улучшение качества сельскохозяйственной продукции (включая увеличение содержания белка, сахаров, наиболее важных для функционального питания микроэлементов, повышение сохранности плодов и овощей); (д) адаптация производства (включая выбор культуры, сорта, гибрида, породы, агротехнологии, системы машин) к условиям конкретного поля и рабочего участка; (е) оперативная корректировка наилучших доступных агротехнологий и даже специализации хозяйства к глобальным изменениям климата (с учётом текущих и перспективных запросов рынка и условий финансирования); (ж) сертификация сельскохозяйственной продукции и производства; (з) верификация природных агроклиматических проектов; (и) инвентаризация углеродного баланса почв для уточнения проблематичной «углеродной» отчетности крупных предприятий АПК (с расчетным уровнем эмиссии более 50 тысяч т CO₂-эквивалента в год).

Базовые положения методологии агроэкологического мониторинга были сформулированы в 1980–2000-е гг. параллельно развитию агроэкологии как самостоятельной науки в ведущих аграрных научных и образовательных центрах России (институты Россельхозакадемии, РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, МГУ имени М.В.

Ломоносова) и мира (профильные департаменты и отделы ФАО, Калифорнийского университета, Корнельского университета, университета Вагенингена и многих других).

Информационно-методическую основу регионально и/или локально адаптированных систем агроэкологического мониторинга в сфере растениеводстве составляют: (i) агроэкологические требования районированных сельскохозяйственных культур и, по возможности, их сортов и гибридов; (ii) районированные технологические карты с дифференциацией разных уровней возделывания основных культур, включая факультативные операции и ранжирование гибких элементов технологии; (iii) технические характеристики и показатели производительности техники, используемой в агротехнологиях, с оценкой воздействия и последствий на почву; (iv) показатели нормативной эффективности удобрений, мелиорантов, побочных продуктов животноводства и средств защиты растений, используемых в агротехнологиях, оценки их мобильности, устойчивости и воздействия на почвы и основные группы почвенной биоты; (v) методические рекомендации с оценкой влияния лимитирующих экологических факторов на производственный процесс, длительность фенологических фаз, урожайность, структуру и качество урожая выращиваемых культур; (vi) динамичная система цен на основные виды затрат и рыночную стоимость готовой продукции; (vii) частные и интегральные алгоритмы комбинированной оценки агроэкологического качества почв и

земель, группы и нормативы их диагностических параметров для оценки соответствия различным культурам и вариантам агротехнологий.

Последние обычно разрабатываются на основе «рамочных рекомендаций» ФАО с поэтапным обобщением результатов агроэкологической оценки текущих или прогнозируемых значений отдельных параметров почв/земель в их функциональные (факторные) оценки с наглядным представлением результатов по единой системе ранжирования разноплановых характеристик от 0 (критическое состояние) до 1 (оптимум) (табл. 1).

Таблица 1

Интерпретационная шкала оценки агроэкологического качества почв и земель.

Фактор	Градации агроэкологического фактора (функции) по значениям оценки					
	1-0.96	0.95-0.76	0.75-0.51	0.50-0.26	0.25-0.01	0.0
А.	ЗЕМЛИ высокой	ЗЕМЛИ повышенной	ЗЕМЛИ средней	ЗЕМЛИ низкой	ЗЕМЛИ очень низкой	ЗЕМЛИ непродуктивные
продуктивности						
В.	с очень хорошими	с хорошими	с удовлетворительными	с плохими	с очень плохими	с крайне плохими
условиями обработки						
С.	однородные	слабо-	средне-	сильно-	непригодные для использования	
					под пашню	в хозяйстве
неоднородные						
Д.	не требующие	требующие незначительного	требующие значительного	требующие очень значительного	требующие капитальной мелиорации	
мелиоративного улучшения						
Е.	высокой	повышенной	средней	низкой	очень низкой	лишенные
устойчивости к загрязнению						
Ф.	благополучного санитарно-экологического состояния			мало-пригодные для сельскохозяйственного использования	условно-	не-
Г.	с очень благоприятными	с	с довольно	с	с очень	с крайне
микроклиматическими условиями						
Н.	с очень хорошим	с хорошим	с довольно хорошим	с плохим	с очень плохим	с крайне плохим
режимом продуктивного влагозапаса в почве						
QΣ	оптимального	хорошего	удовлетворительного	неудовлетворительного	очень плохого	критического
АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ						

Методологическую основу систематизированного выделения и анализа агроэкологических функций почв/земель составляет разработанное академиком Г.В. Добровольским и кафедрой географии почв МГУ имени М.В. Ломоносова учение об экологических функциях почв.

В идеале, агроэкологический мониторинг формирует открытую информационно-справочную и экспертно-аналитическую систему поддержки принятия решений (СППР) для обеспечения широкого спектра управленческих, проектных, контрольно-регуляторных и технологических задач в области экологии почв и рационального природопользования на типичных объектах сельскохозяйственной деятельности, включая

растениеводство, животноводство, хранение и первичную переработку продукции, водную, лесную, агрохимическую мелиорацию.

Многочисленные данные системного анализа и структурирования иерархии лимитирующих агроэкологических факторов формирования урожайности сельскохозяйственных культур в условиях преобладающего на большинстве полей черноземной зоны склонового мезорельефа показывают приоритетное влияние крутизны склона, степени эродированности и подтипа чернозема (рис. 1), который отражает особенности морфогенетического профиля, водного режима и запаса продуктивной влаги в его гумусово-аккумулятивных горизонтах.

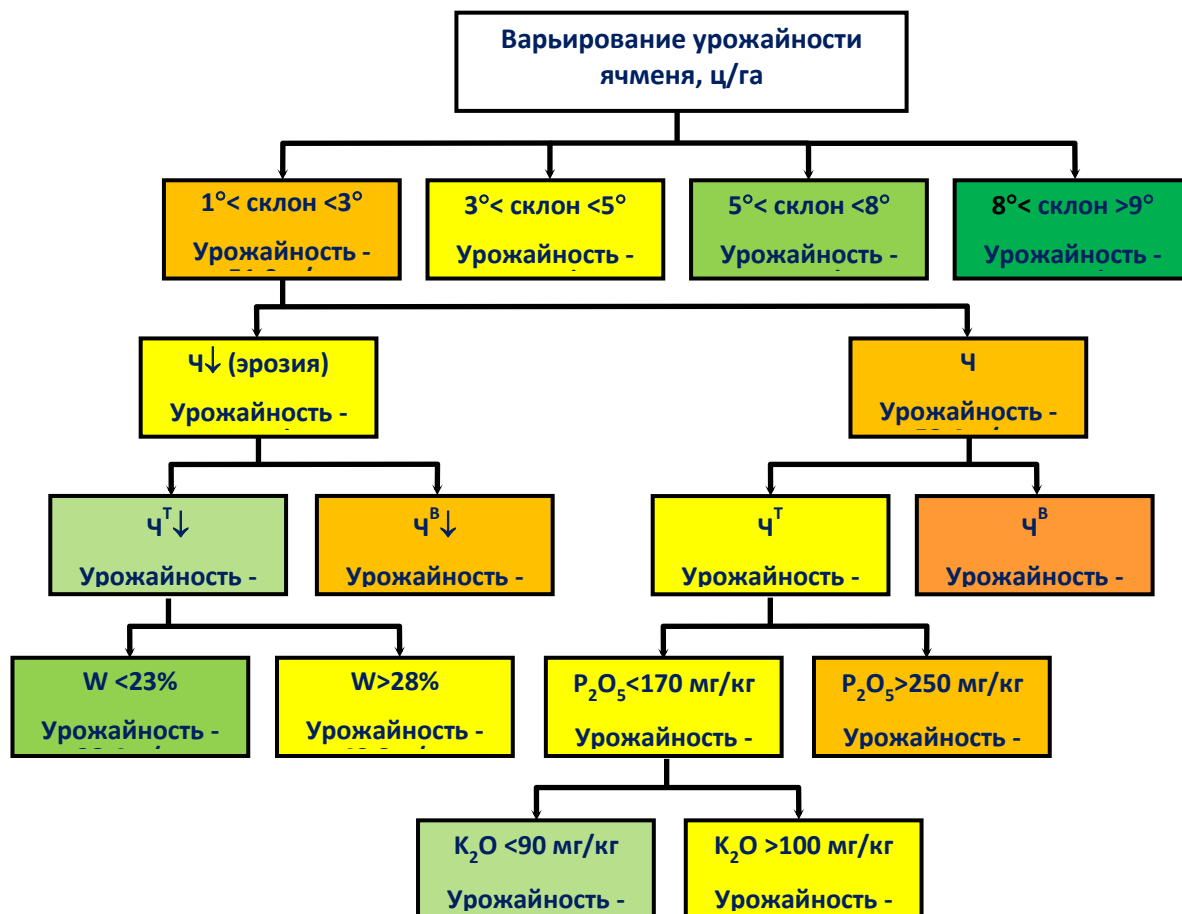


Рис. 1. Дерево регрессии внутрипольного варьирования урожайности ячменя на склоновом участке в Курской области с типичными ($Ч^T$) и выщелоченными ($Ч^B$) полнопрофильными и эродированными ($\downarrow$) черноземами.

Агроэкологический мониторинг почв связан с системным решением комплексных задач ретроспективного анализа и моделирования, поискового и нормативного прогнозирования больших массивов разноплановой информации, что определяет необходимость применения сквозных цифровых технологий на всех этапах мониторинга, начиная с геостатистически обоснованного планирования пространственно-временной системы наблюдений и заканчивая оперативно обновляемой геоинформационной визуализацией результатов.

Основные высоко динамичные параметры агроэкологического мониторинга почв, характеризующие почвенные режимы, во многом, определяет реальную скорость важнейших почвенных процессов и реальное выполнение почвой основных агроэкологических функций. Оптимальной часто является организация на наиболее представительных рабочих участках и/или в проблемных агроэкологических ареалах подекадных

наблюдений за температурой и влажностью почвы и помесечной – за основными режимами функционирования почвенной микробиоты. Дальнейшая детализация временной динамики температуры и водного режима почв, профильной миграции солей и подвижных форм элементов питания, активности биоты может проводиться с помощью IoT датчиков и/или педодинамического моделирования – при верификации их данных по фиксированным срокам режимных наблюдений.

При детальном морфогенетическом наблюдении желательно не менее 2 раз в сезон (весной и ранней осенью), определять глубину залегания карбонатов (вскипания профиля от HCl), содержание гумуса и pH в верхних горизонтах почв, поскольку известны факты их весьма значимого сезонного колебания: до 10-15 см глубины вскипания, 0,5-0,7 % гумуса, 0,7-0,8 pH.

Фенологические наблюдения за посевами (растительностью) проводятся по основным фазам их развития и затем согласуются с результатами исследования почвенных режимов. Общая тенденция к повышению среднемесячных температур теплого периода определяет постепенное увеличение суммы активных температур вегетационного периода, создавая потенциально благоприятные условия для более интенсивного развития товарного растениеводства в условиях ускоряющихся глобальных изменений климата и биоты.

Одновременно актуализируются агроэкологические проблемы, связанные с возрастающей неопределенностью изменения погодных условий, сезонной активизацией и расширением возможного состава сорняков, вредителей и болезней культурных растений.

Неоднозначные изменения в многолетней и сезонной динамике осадков сопровождаются дальнейшим увеличением региональной неоднородности и непредсказуемости сезонной динамики запасов продуктивной влаги в почве.

Взросшая периодичность и/или повышенная интенсивность и длительность как засух, так и более редких, но высокоинтенсивных ливней в большинстве сельскохозяйственных регионов России приводят к заметному увеличению агроэкологической неопределенности и рисков растениеводства – в связи с прямым воздействием (замедление фаз, ограниченный рост растений или водная эрозия) и последствием (потери продуктивного влагозапаса почв, активизация сорняков, снижение урожайности) неблагоприятных метеословий (НМУ).

Агроэкологическое моделирование с элементами искусственного интеллекта длительности фенологических фаз в зависимости от срока сева и прогнозируемой по данным мониторинга последних лет сезонной динамики температуры и осадков позволяет выбрать оптимальные сроки сева, заметно повышая урожайность культуры в проблемных агроэкологических зонах без дополнительных инвестиций в агротехнологии. Так, в полевых опытах двух лет на базе Полевого стационара Оренбургского НИИ сельского хозяйства ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН было получено устойчивое по двум сортам твердой пшеницы и двум вариантам агротехнологий повышение урожайности на 5-15% и даже 25-55% в результате сдвига сева на 28 и 10 дней, соответственно, в года со среднемноголетней суммой осадков и ярко выраженным дефицитом осадков за вегетационный период яровой пшеницы – на фоне выявленного мониторингом сдвига второго летнего максимума осадков на 2-2,5 недели.

Более того, во всех вариантах полевого опыта в засушливом 2023 году прирост урожайности сельскохозяйственных культур от адаптивного сдвига сроков сева оказался даже значительно выше, чем от дополнительной дозы минеральных удобрений, что положительно сказалось на рентабельности производства твердой пшеницы, предсказуемости и привлекательности ее выращивания для потенциальных инвесторов. Аналогичные сдвиги июльского максимума осадков наблюдаются в соседних Самарской и Саратовской областях, что актуализирует проведение аналогичных исследований и там. Использование агроэкологических СППР совместно с региональными геоинформационными системами позволяет исключить или минимизировать значительное число экологических и экономических рисков сельскохозяйственного

производства – за счет выбора оптимальных для условий конкретного поля и рабочего участка культуры, сорта (гибрида), наилучшей доступной агротехнологии и оперативной корректировки ее гибких элементов с учетом агроклиматических условий сезона, предшественника и агроэкологических особенностей почвенного покрова. Россия имеет богатую историю детальных исследований зональных структур почвенного покрова и внутриверхнего варьирования плодородия почв, что создает хорошие предпосылки для поэтапной локализации рамочных агроэкологических СППР.

УДК 631.481

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПАДИН НА ТЕРРИТОРИИ ТРУБЧЕСКОГО ОПОЛЯ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.А. Государева

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва,
ekaterina_gos@mail.ru

Территория Брянской области характеризуется распространением равнинных и опольско-полесских ландшафтов. В числе последних выделяется Трубчевское ополье, расположенное на высоком берегу реки Десны и занимающее площадь около 10 000 га. Благодаря высокому плодородию почв земли ополья интенсивно используются в сельскохозяйственном производстве.

Методом ручного дешифрирования снимков высокого разрешения была проведена классификация угодий ополья, что позволило выполнить сравнительный анализ территорий. В ходе анализа было установлено соотношение площадей, находящихся в сельскохозяйственном обороте, выведенных из него, а также земель, занятых овражной сетью и урбанизированными территориями. На всей площади Трубчевского ополья были идентифицированы западины, приуроченные преимущественно к пахотным землям. Установлено, что 75% западин расположены на территории с уклоном менее 1°, а более 90% – на склонах менее 2°. Сопоставление карт четвертичных отложений, почв и растительности показало, что 88% всех западин приурочены к двум крупным категориям: флювиогляциально-озёрным отложениям на морене с дерново-подзолистыми почвами под бывшими сосново-широколиственными лесами и лёссовым отложениям на меловых породах с серыми лесными почвами под бывшими дубравами.

Западины были классифицированы на три размерные категории. Среди западин на пахотных землях доминируют малые формы, составляющие более половины от общего количества, однако их вклад в общую площадь не превышает 10%. Обратная ситуация наблюдается с крупными западинами: составляя менее 15% от общего числа, они формируют более 60% от общей площади, занимаемой западинами.

Анализ пространственного распределения выявил различия в кластеризации западин разного размера. Среднее значение индекса ближайшего соседа для полевых западин составляет 0,30, что свидетельствует о весьма высокой степени кластеризации. При этом малые западины характеризуются ещё более низким значением индекса и, соответственно, более высокой степенью кластеризации. Западины средних и крупных размеров демонстрируют значительно менее кластеризованное распределение, хотя их пространственное размещение также существенно отличается от случайного.

УДК 631.879, 631.461, 631.421.2

ПОВЫШЕНИЕ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ПШЕНИЦЫ НА ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВАХ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОУГЛЯ ИЗ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА

Дрягина А., Ибраева К.

Тюменский государственный университет, Тюмень, e-mail: a.driagina@utmn.ru

Почва является незаменимым природным ресурсом, который необходим для жизни на Земле и существования человечества. На сегодняшний день, современное земледелие сталкивается с комплексом взаимосвязанных проблем, а именно прогрессирующей

деградацией почвенного покрова, изменением климата и увеличением частоты и интенсивности засух, все это ставит под угрозу продовольственную безопасность. В связи с этим, возрастает антропогенная нагрузка на экосистемы, что создает серьезные вызовы для сельского хозяйства, особенно в регионах с рискованным земледелием, таких как Тюменская область. Одновременно с этим остро стоит вопрос утилизации органических отходов агропромышленного комплекса, в частности, птичьего куриного помета. В настоящее время в России функционирует более 490 птицефабрик, что указывает на образование колоссального количества отходов. Считается, что от одной птицефабрики ежегодно поступает около 30-100 тыс. т помета, и менее половины находит полезное применение. Кроме того, данные отходы относятся к III классу опасности (пункт 1 статьи 12 Федерального закона от 04.05.2011 № 99-ФЗ), что, в свою очередь, создает проблемы по эффективному использованию, утилизации, а также складированию с минимальным негативным воздействием на окружающую среду. При рассмотрении куриного помета, для обогащения почвы азотом и другими элементами питания, существует необходимость предварительного обезвреживания (термической сушке, компостированию и др.). Перспективным направлением обезвреживания и утилизации является переработка помета методом пиролиза в биоуголь. Термическая переработка позволяет нейтрализовать экологические риски (устранить патогены, стабилизировать питательные элементы), а также получить ценный продукт с широким спектром применения. Внесение биоугля в почву является одной из наиболее эффективных технологий органического земледелия и адаптации агросистем к изменению климата. Проведено значительное количество исследований, демонстрирующих положительное влияние биоугля как мелиоранта на структурные характеристики почвы и показатели урожайности сельскохозяйственных культур. Однако работ, посвященных изучению о его влиянии на устойчивость растений в стрессовых условиях, крайне недостаточно.

Целью работы является оценка влияния биоугля, полученного из куриного помета, на выживаемость и продуктивность пшеницы, выращиваемой в условиях имитируемой засухи.

В данной работе использован птичий помет птицефабрики Тюменской области. Биоуголь получен на разработанной лабораторной установке путем медленного пиролиза при двух разных температурах: 400 °C и 600 °C, который вносился в дерново-подзолистую почву в концентрации 30 т/га. Вегетационный опыт проведен в климатической камере (PGI-850RH 145) с выращиванием яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях среды и при моделировании засушливого стресса. Эксперимент проведен в четырехкратной повторности. На рисунке 1 представлена схема эксперимента с получением биоугля из птичьего помета при разных температурах с определением текстурных характеристик, таких как удельная площадь поверхности, объем и диаметр пор, а также внесением его в почву для вегетационного исследования.



Рисунок 1 – Схема эксперимента с получением биоугля из помета при разных температурах и с внесением его в почву для выращивания пшеницы.

Полученные образцы углеродистого остатка характеризовались значительными различиями в текстурных свойствах: биоуголь, полученный при 600°C, демонстрировал

более высокую удельную поверхность ($18.125 \text{ m}^2/\text{g}$ против $15.551 \text{ m}^2/\text{g}$), однако имел меньший объем пор ($0.058 \text{ cm}^3/\text{g}$ против $0.067 \text{ cm}^3/\text{g}$) и меньший диаметр пор ($12.779 \text{ \AA}$ против $17.283 \text{ \AA}$) по сравнению с биоуглем, полученным при 400°C . На рисунке 1 представлены три варианта пшеницы, выращенных в горшках в условиях имитируемой засухи. Контрольная группа (белый горшок) выращена без биоугля, в то время как две другие группы были дополнены биоуглем, полученным при различных температурах пиролиза: 400°C (коричневый) и 600°C (зелёный).

Результаты эксперимента показали, что в условиях имитируемой засухи добавление биоугля в почву значительно повысило засухоустойчивость и развитие пшеницы по сравнению с вариантом без биоугля (контроль). На 7 день имитируемой засухи растения в контроле продемонстрировали признаки преждевременной гибели, не достигнув зрелости пшеницы (фазы колошения). Однако пшеница, выращенная в почве с добавлением биоугля, полученного как при 400°C , так и при 600°C , продемонстрировала противоположный эффект. Зерновая культура пережила засушливый период, а также успешно перешла в фазу колошения, с видимыми колосками, что является показателем сохранения физиологических функций и успешного вегетативного развития.

Предложена гипотеза о том, что применение углеродистого остатка представляет собой эффективную стратегию адаптации пшеницы к засушливым условиям. Механизм действия основан на повышении влагоемкости почвы, оптимизации условий развития корневой системы и улучшении минерального питания растений, что способствует повышению их засухоустойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания № FEWZ-2024-0013 (Научно-технические основы и прикладные решения ресурсоэффективной термической переработки органического сырья с получением продуктов с высокой добавленной стоимостью для энергетической, металлургической и сельскохозяйственной отраслей).

УДК: 633.35.632.15

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САХАРОНОСНЫХ СОРГОВЫХ КУЛЬТУР В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Кубарев Е.Н.¹, Еланский С.Н.¹, Астайкина А.А.¹, Партоев К.², Сатторов Б.Н.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова (Аграрный центр МГУ), Москва, kubarevmsu@mail.ru;

²Институт ботаники, физиологии, генетики и селекции НАН Республики Таджикистан, Душанбе, bаса6600@mail.ru

Почвенно-климатические условия стран Центральной Азии благоприятны для успешного выращивания многих сельскохозяйственных и лекарственных культур. В связи с постоянными изменениями глобального климата, актуальным становится выращивание жаро- и засухоустойчивых и высокопродуктивных культур, таких как сахарное сорго (*Sorghum saccharum* Jakushev). Сорта сахарного сорго российской селекции (Шахрезада, Севилья, Изольда, Волжское -51) были испытаны в 2024 г в различных районах Таджикистана на разных высотах над уровнем моря. Как показали испытания, исследуемые сорта обладают высокой урожайностью и содержат достаточно большое количество сухих веществ, устойчивы к большинству болезней и засолению почв. Все сорта засухо- и жароустойчивы, показали достаточно хороший рост и урожайность при дополнительном поливе. Семена для опытов предоставлены ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (г. Саратов, РФ). Опытные поля для проведения испытаний сахарного сорго расположены в разных почвенно-климатических зонах Таджикистана на разных высотах над уровнем моря

(н.у.м) в следующих административных районах: Фархор -350 м н.у.м., Душанбе -840 м н.у.м., Рашт -1350 м н.у.м., Файзабад -1500 м н.у.м.,

Почва на опытных полях серозёмы луговые окультуренные, легко и среднесуглинистые, слабо- и среднегумусированны (Раштский р-н, 3,11%). Средне и слабо обеспечены подвижными формами фосфора и слабо обеспечены обменными формами калия. Почвы Фархорского района представлены светлыми сероземами, которые бедны содержанием подвижного фосфора и обменного калия, а также низкое содержание гумуса (1,1-1,3%). Значения pH солевой вытяжки в пределах 7,0-7,4. Во всех районах исследований обеспеченность азотом в аммонийной форме очень низкая (1,4-5,3 млн-1), в отличие от нитратной формы, которой в достатке в основном (14,8 – 31,7 млн-1), что говорит о предпочтении внесения азота, как основного питательного элемента, в аммонийной форме. Во всех районах исследований наблюдается недостаток некоторых микроэлементов в подвижной форме (медь, молибден, цинк, кобальт, бор), что является поводом использовать удобрения содержащие эти микроэлементы, в растворённом виде в хелатной форме фолиарными опрыскиваниями.

Как известно, почвы Центральной Азии могут содержать повышенные значения мышьяка, что негативно может сказываться на здоровье человека и домашних животных в результате постепенного накопления в частях организма. Растение способно поглощать столько As, сколько находится в почвенной влаге, и чем больше его содержится в почве, тем оно больше поглощает. Причём чем выше значения pH, тем выше доступность мышьяка для растений.

По валовому содержанию мышьяка незначительное превышение предельно допустимого уровня наблюдалось в почвах Гиссарской долины в районе Душанбе 11,9 мг/кг, в остальных районах значения меньше 10 мг/кг, а наименьшие значения наблюдаются в Раштском районе 6,1 мг/кг, где содержание органического вещества наибольшее.

Следовательно, для снижения процессов накопления мышьяка растениями в процессе роста, следует использовать физиологически кислые минеральные удобрения для подкисления почвенного раствора и повышать гумусированность почв, путём внесения органических удобрений и выращиванием высокопродуктивных сидеральных культур, адаптированных к жарким и засушливым условиям, таких как сахарное сорго.

Выращивание сахарного сорго в южных частях Таджикистана, позволяет собирать до трёх урожаев, причём первые два укоса могут идти на силосование и корм скоту, а третий укос целесообразно делать после сбора зерна на семя, в пищу и корм, как ценный компонент кормовых смесей, для речной форели, птиц и других животных.

Одним из основных показателей зерна сорго, обуславливающим его питательную ценность, является содержание белка и крахмала. В условиях богары Фархорского района зёрна сорго содержат в себе практически в два раза больше клетчатки (11,4%), чем в других районах – 5,0% в Раштском районе и около семи процентов в Душанбе, где более благоприятные условия почва хорошо окультурена. Наименьшее количество крахмала и белка было в зёрнах сорго, выращенном в богарных условиях, что говорит о снижении пищевой ценности получаемого урожая семян. Максимальное содержание белка было в Файзабадском районе (11,1%) Растения сорго, выросшие в богарных условиях Фархорского района без полива и добавления минеральных удобрений, существенно отставали в росте от растений, выросших на окультуренных почвах с дополнительным поливом в том же районе, на таком же типе серозёмных почв. Высота растений на богаре

не превышала 133 см, тогда как растения, выросшие в том же районе, но с поливом была около 230 см. С точки зрения протекания биохимических процессов наблюдаемые различия можно объяснить следующим образом: когда влаги не хватает даже для фотосинтеза, а вода необходима и в световой стадии - фотолиз воды, и в темновой - когда протекает начальная стадия карбоксилирования рибулозодифосфата. Так как образуется достаточно много клетчатки, органического вещества хватает для функционирования пентозофосфатного пути, где клетчатка и синтезируется, а вот на остальные пути синтеза не хватает, где образуется пониженное содержание крахмала и белка, как и подтверждают результаты наших анализов. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) примерно на одинаковом уровне, однако на богаре наблюдаются также самые низкие значения 69,3 % по сравнению с показателями в других районах, которые превышали 73,4 %.

Значения урожайности зерна сорта Шахрезада постепенно понижаются по мере увеличения значений над уровнем моря, 5,6 т/га в Фархорском р-не на в.н.ум 350 м, 2,8 т/га в Файзабадском районе на в.н.ум. 1500 м. Та же самая тенденция наблюдается по показателю общей биологической массы (т/га), самый высокий показатель данного признака нами зафиксирован на высоте 350 м над уровнем моря (Фархорский район, 20,8 т/га) и наименьший показатель на высоте 1500 м над уровнем моря (Файзабадский район, 13,6 т/га). И практически обратная корреляция наблюдается в ценном биохимическом показателе содержания сахаров. Самая высокая сахаристость сорта Шахрезада оказалась на высоте над уровнем моря 1350 м - 20,5%, 17,8% на 840 м, 16,0 % на высоте 1500 м, и самые низкие значения оказались в самом южном Фархорском районе (около 10%) на высоте 350 м. Однако необходимо учесть тот факт, что интенсивность полива отличалась по районам, причём в Фархорском районе наблюдались несильно выраженные признаки переувлажнения и заиливания. Содержание калия в почве Файзабадского района было наименьшим 196 мг/кг, в отличие от остальных районов, где обеспеченность калием была высокой и очень высокой. Как известно, ионы калия регулируют процессы накопления сахаров в урожае с.-х. культур.

Выращивание сахарного сорго в качестве сахароносного сидерата, с целью повышения численности земляных червей очень перспективно, особенно с применением технологичной системы полива, с помощью турбобарабанных поливных установок, например. Применение современных технологий, минеральных и органических агроулучшителей, соблюдение севооборота, способствует поддержанию плодородия почв и высоким показателям урожайности с.-х. культур. Для жарких и засушливых районов Евразийского региона крайне актуально выращивание высокоэффективных сортов сорговых растений с применением адаптивных технологий земледелия, способствующих поддержанию плодородия почв.



Измерение морфометрических параметров сахарного сорго в Раштском районе, 1350 м н.у.м.

УДК 631.416.1:631.417.4

АЗОТМИНЕРАЛИЗУЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ КАШТАНОВО-СОЛОНЦОВОГО КОМПЛЕКСА НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Кузнецова Т.В., Удальцов С.Н.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, Пущино, e-mail: kuznetsova@pbcras.ru, udaltsov@issp.serpukhov.su

Азотминерализующий потенциал (АМП) почвы характеризуется потенциальными размерами микробной трансформации почвенного органического азота в неорганические формы при определенных гидротермических условиях среды. Минерализация органического азота в почве, с одной стороны, является одним из ключевых процессов, поддерживающим плодородие почвы и обеспечивающим растения доступным для их питания азотом, а с другой, может приводить к потерям азота из почвы в виде газообразных соединений и нитратов. Поэтому оценка потенциальной азотминерализующей способности почвы имеет важное значение для повышения эффективности использования азота из всех источников и уменьшения его экологических потерь.

Целью исследования была оценка АМП почв каштаново-солонцового комплекса (каштановые почвы различной степени засоленности и солонцеватости, солонцы) естественных (целина) и антропогенно-измененных (залежь, лесополоса, агроценоз) экосистем сухих степей Нижнего Поволжья (Иловлинский, Ольховский, Октябрьский р-ны Волгоградской обл.). Образцы почв были отобраны из горизонтов А1 (или Апах). АМП оценивали в длительных инкубационных экспериментах с помощью биокинетического метода по накоплению подвижного минерального азота (обменного аммония и нитратов, $N_{мин}$) в разные периоды аэробной инкубации почвенных образцов при оптимальных температуре и влажности. Биокинетический метод позволяет

определить не только размеры потенциально-минерализуемого ($N_{\text{пм}}$) и нетто-минерализованного ($N_{\text{нм}}$) азота, но и константы скорости минерализации (k) этих пулов. Содержание общего азота ($N_{\text{общ}}$) в почвах значительно различалось (от 56 ± 2 до 264 ± 5 мг/100 г), а доля исходного $N_{\text{мин}}$ от $N_{\text{общ}}$ не превышала 1%. Все исследуемые почвы имели достаточно высокую способность к минерализации азотсодержащих органических соединений. Содержание нетто-минерализованного азота в почвах в 3.5–16.9 раз превышало исходное содержание в них $N_{\text{мин}}$, при этом $N_{\text{нм}}$ во всех почвах был представлен только нитратной формой. Доля $N_{\text{пм}}$ от $N_{\text{общ}}$ в почвах составляла 2.5–5.3%. Содержание $N_{\text{пм}}$ и $N_{\text{нм}}$ было максимальным в почвах целинных участков, при этом данные пулы азота имели более низкие константы скорости минерализации по сравнению с таковыми для почв антропогенно-нарушенных экосистем. Константы скорости минерализации $N_{\text{пм}}$ для исследуемых почв составляли $0.016 \pm 0.0001 - 0.047 \pm 0.0002 \text{ сут}^{-1}$. Интенсивность минерализации $N_{\text{пм}}$ в почвах агроценозов была в 2.1–3.2 раза выше, чем в почвах других экосистем.

Таким образом, показано, что интенсивность минерализации азотсодержащих органических соединений в почвах каштаново-солонцового комплекса значительно выше для антропогенно-измененных, чем для естественных экосистем. На основании данных по соотношению потенциально-минерализуемых пулов углерода и азота ($C_{\text{пм}}:N_{\text{пм}}$) установлено, что почвы антропогенно-измененных экосистем обеднены активным органическим веществом в сравнении с почвами естественных экосистем. При оптимальных гидротермических условиях (например, в период летних ливневых дождей, характерных для данного региона) образующийся в почвах азот в нитратной форме может быть причиной его экологических потерь за счет избыточного накопления нитратов в водоисточниках и растительной продукции, а также эмиссии закиси азота из почвы в атмосферу. Исследования по оценке азотминерализующего потенциала почв сухостепной зоны Нижнего Поволжья могут быть использованы при прогнозировании состояния и разработке конкретных мер по сохранению и повышению плодородия почв в этом регионе.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 122040500037-6.

УДК 330.15:633.1

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ормели Е.И.

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, e-mail: meteokatenok@mail.ru

Земельный ресурс является одним из главных факторов экономического развития регионов. В настоящее время действует ряд долгосрочных государственных программ, направленных на поддержание и развитие сельского хозяйства с целью повышения продуктивности и качества агроэкосистем. В государственном (национальном) докладе о состоянии и использовании земель в России (2024 г.) отражены основные аспекты земельной сферы. В документе «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации» (2020 г.) к одним из ключевых рисков, угрожающим продовольственной безопасности страны, относятся климатические и агроэкологические, обусловленные неблагоприятными климатическими изменениями, ростом процента деградированных земель и снижением их плодородия. Рациональное использование естественных природных ресурсов территории способствует максимально полной реализации ее биоклиматического потенциала – комплексного показателя, сочетающего совокупность природных, почвенных и агроклиматических условий, обеспечивающих тот или иной уровень биологической урожайности сельскохозяйственных культур. Саратовская область – аграрный регион с высокими потенциальными возможностями. Инвестиционная привлекательность обусловлена выгодным географическим

расположением, уникальными климатическими условиями – наличием трех природно-климатических зон (лесостепной, степной, полупустынной), а также большим объемом земель сельскохозяйственного назначения. По данным Росреестра, площадь сельскохозяйственных угодий в Саратовской области составляет 8,6 млн. га, из них 5,9 млн. га пашни (96% обрабатываемой), 2,2 млн. га пастбищ, 108 тыс. га сенокосов, 26 тыс. га многолетних насаждений. Главным приоритетным направлением развития агропромышленного комплекса (АПК) является модернизация и расширение площадей орошаемых участков, способствующих приросту растениеводческой продукции. На сегодня Саратовская область среди субъектов РФ входит в топ-10 крупнейших сельскохозяйственных производителей и занимает лидирующее первое место среди регионов Приволжского федерального округа (ПФО) по валовому сбору зерновых культур (7114,9 тыс. т) и по экспорту продукции АПК (526,8 млн. долларов). Доля растениеводства в регионе составляет 76%. Здесь возделывается широкий набор зерновых, технических, кормовых культур, в последнее десятилетие активно развивается садоводство. В экономике большинства аграрных предприятий области ведущая роль принадлежит возделыванию высококачественных сортов зерновых культур. В структуре посевных площадей под зерновые и зернобобовые отведено до 52,3%. По последним данным Росстата в регионе возделывается 14 видов зерновых и зернобобовых культур, 9 из которых имеют отгрузку за границу: пшеница, ячмень, рожь, просо, овес, горох, нут, чечевица, кукуруза. Среди масличных культур экспортируются: лен, горчица, рапс, сафлор, рыжик. Основными направлениями экспорта продукции на Российском рынке являются Московская, Ленинградская, Волгоградская, Ростовская, Калининградская области. Пшеница – главная культура региона с широкой географией отгрузки: Азербайджан, Казахстан, Краснодарский край, Ростовская и Астраханская области. Продуктивность возделываемых культур зависит от генетических, биологических, экологических особенностей растений, но существенную роль на их рост и развитие оказывают гидротермические условия конкретного года. Температура и осадки выступают главными лимитирующими факторами, определяющими процесс органогенеза растений и продолжительность межфазных периодов.

Целью исследования является комплексная оценка биоклиматического потенциала Саратовской области с учетом пространственной дифференциации природных условий и современных климатических тенденций начала XXI столетия.

Мониторинг изменения агроклиматических показателей территории проводился за период 2000-2024 гг. по данным наблюдений пяти метеостанций: Хвалынский, Балашов, Саратов, Ершов, Александров Гай; информационной базой послужил архивный метеорологический материал сайта ВНИИГМИ-МЦД. В основу оценки продуктивности зерновых культур положены официальные данные Росстата.

В таблице 1 представлены физико-географические и современные агроклиматические условия территории.

Климат Саратовской области умеренно-континентальный. В последние три десятилетия отмечается увеличение продолжительности летнего сезона и значительное сокращение зимнего. Период с суммами активных температур больше 10°C изменяется от 159 дней в Балашове до 196 дней в Александровом Гае. Нарастание теплообеспеченности происходит с северо-запада на юго-восток, в этом же направлении заметно уменьшается количество осадков. Значения осадков правобережных районов практически в 1,5-2 раза превышают значения левобережных. Средняя многолетняя сумма осадков за вегетационный период на северо-западе региона – в Балашове составила 159 мм, на юго-востоке – в Александровом Гае 70 мм в.

Для расчета интенсивности и повторяемости атмосферных засух применялись известные методы: гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) и коэффициент увлажнения Шашко (КУ). В правобережье преобладают засухи слабой и средней интенсивности, в

левобережье – в центральной части и на юго-востоке территории практически ежегодно отмечаются сильные засухи.

Расчет БКП показал, что правобережные районы области относятся к зоне средней продуктивности, центральная часть левобережья – к зоне пониженной биологической продуктивности, и юго-восточные – к низкой.

Анализ продуктивности разных групп зерновых культур показал, что оптимальные температурно-влажностные условия в совокупности с плодородным почвенным составом наблюдаются в Балашовском муниципальном районе. Александрово Гайский район характеризуется самым низким уровнем интенсивности земледелия – данная территория хорошо обеспечена теплом, но находится в критической зоне недостаточного увлажнения.

Проведенный мониторинг агроклиматических ресурсов на территории Саратовской области может служить информационной базой для обеспечения долгосрочной стратегии развития зернового комплекса РФ и адаптации сельского хозяйства региона к наблюдаемому и прогнозируемому изменению климата: - корректировать оптимальные сроки сева; - вводить в севооборот засухоустойчивые сорта зерновых культур; - в сухостепных и полупустынных зонах внедрять лесополосы для сохранения влажности почвы и защиты почв от эрозии и деградации.

Таблица 1 Агроклиматические условия Саратовской области за период 2000-2024 гг.

Метеостанция м/с	Физико-географические условия				Агроклиматические условия							Фактическая урожайность с/х культур, ц/га		
	φ, °	h, м	Природно-климатическая зона	Почвы	T _{ср} , °C	ΣT ≥ 10 °C	R, мм	N _{T ≥ 10°C} , сут	ГТ К	КУ	БК П	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Просо
Правобережье														
Хвалынский	52° 33'	243	лесостепь	черноземы обыкновенные	19,7	2940	104	174	0,50	0,28	1,9	20,3	15,1	10,4
Балашов	51° 33'	200	засушливая степь	черноземы обыкновенные	19,3	2866	152	159	0,90	0,36	2,0	34,7	16,0	26,7
Саратов	51° 34'	120	засушливая степь	черноземы южные	20,0	3100	133	173	0,60	0,27	1,8	21,0	11,0	14,2
Левобережье (Заволжье)														
Ершов	51° 20'	104	сухая степь	темно-каштановые	20,4	3018	96	188	0,41	0,18	1,3	19,9	9,6	8,8
Александров Гай	50° 09'	23	полупустыня	Светло-каштановые, солонцы	22,0	3243	70	196	0,25	0,12	1,1	19,9	–	–

Примечание: φ – широта м/с; h – высота м/с; T_{ср} – средняя температура воздуха за вегетационный период; ΣT ≥ 10°C – сумма активных температур воздуха; R – сумма осадков за вегетационный период; N_{T ≥ 10°C} – продолжительность вегетационного периода; ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова; КУ – коэффициент увлажнения Шашко, БКП – биоклиматический потенциал.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИНСЕКТИЦИДОВ ИЗ КЛАССА НЕОНИКОТИНОИДОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ.

Плетенев П.А.¹, Бухонов А.В.¹, Синицкая Т.А.¹

¹Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Мытищи, Pletenev.PA@fncg.ru.

На фоне интенсификации сельского хозяйства, изменения ряда почвенных и климатических факторов, снижающих иммунитет растений, значительный вклад в снижение количества и качества сельскохозяйственной продукции вносят насекомые-вредители. Они представляют собой разнообразную группу насекомых, отличающихся по месту обитания, способу нанесения ущерба и биологическим особенностям. Выделяется 5 основных групп насекомых-вредителей: листогрызущие, сокососущие, корнееды, складские вредители и переносчики болезней.

Инсектициды – это химические или биологические препараты, используемые для уничтожения насекомых-вредителей, которые питаются сельскохозяйственными культурами. Они особенно актуальны в период вегетации, когда посевы подвержены массовым нападениям гусениц, саранчи, тли и других вредных насекомых.

Вещества группы неоникотиноидов являются одними из самых широко применяемых и эффективных инсектицидов. Они проникают в организмы кишечным способом и обладают системным действием. Отличаются от остальных инсектицидов особым механизмом действия и не способствуют появлению перекрестной резистентности с инсектицидами других групп.

По опасности для человека и животных большинство неоникотиноидов в соответствии с МР 1.2.0235-21 «Гигиеническая классификация пестицидов и агрохимикатов по степени опасности» отнесены ко 2 классу опасности по стойкости в почве (опасное соединение). Так, практически все вещества группы неоникотиноидов по симптомам могут быть схожи на отравление никотином. Хроническое отравление проявляется повышением уровня холестерина в крови и обратимыми изменениями печени, при длительных воздействиях высоких доз есть вероятность поражения щитовидной железы.

Одним из центральных вопросов современных исследований в области гигиены и безопасности окружающей среды является обоснование применения химических веществ в различных сферах жизнедеятельности человека.

Целью проведенных исследований являлось установление концентрации в почве действующего вещества (д.в.) инсектицида класса неоникотиноидов, которая гарантирует изменение ферментативной активности не более чем на 25% по сравнению с контрольными образцами на протяжении 7-10 дней, что свидетельствует о возможности почвы к самовосстановлению от воздействия поллютанта.

При выполнении исследований были использованы общепринятые гигиенические, биохимические, химико-аналитические, математико-статистические методы в соответствии с действующими методическими документами.

Для исследования влияния действующего вещества на почвы использовался стандартный модельный почвенный эталон (МПЭ) с постоянным гранулометрическим составом и физико-химическими свойствами песчаной почвы, содержащий 1% органического вещества по массе.

В эксперименте, длительностью 45 суток, были испытаны три концентрации действующего вещества, а также контроль. Первая концентрация соответствовала максимально рекомендуемой норме расхода действующего вещества в сельском хозяйстве – 4 кг/га (однократная обработка посевов) – 1,33 мг/кг; вторая – в 10 раз ниже максимальной нормы – 0,13 мг/кг; третья – в 10 раз выше максимальной нормы – 13,3 мг/кг.

Внесение исследуемого действующего вещества осуществлялась в виде растворов в трёхкратной повторности для каждой концентрации. Влажность в процессе эксперимента поддерживалась на уровне, обеспечивающем 60% от полной влагоемкости.

Образцы для проведения анализов отбирались на 1, 2, 7, 14, 20, 30 и 45 сутки. В отобранных образцах оценивалась динамика содержания аммонийных и нитратных форм азота при помощи системы капиллярного электрофореза «Капель-205», активность ферментов уреазы и дегидрогеназы спектрофотометрически, а также целлюлазы гравиметрическим методом.

Концентрации аммонийных форм азота на протяжении всего эксперимента под действием всех концентраций действующего вещества были ниже контрольных. Несмотря на то, что в первые дни эксперимента отклонение от контрольных значений достигали 58%, уже к 7-м суткам эксперимента содержание аммонийного азота во всех исследуемых концентрациях не отклонялись от контрольных более, чем на 18%. Следует отметить снижение содержания аммонийного азота к 30-м суткам эксперимента, что обусловлено процессом трансформации данной формы азота через нитритную в нитратную. На 45-е сутки концентрация ионов аммония во всех экспериментальных образцах не превышали 9% от контрольных.

Влияние действующего вещества на процессы динамики нитратных форм азота заключалось в общем снижении концентрации нитрат-ионов в экспериментальных образцах. Наиболее заметно это отмечалось в первые 7 суток эксперимента – отклонения от контрольных значений достигали 42%. Однако, уже к 14-м суткам эксперимента содержание нитратных форм азота хоть и было ниже контрольных, но отклонение не превышало 24%. В дальнейшем до окончания эксперимента содержание нитратов-ионов во всех опытных образцах почвы не отличалось от контрольных более чем на 12 %.

Активность фермента уреазы, являющегося интегральным показателем токсического действия поллютанта на почву, в первые 7 суток эксперимента в экспериментальных образцах была ниже контрольных, но не отклонялась более чем на 19%. Первоначальное ингибирование активности фермента на внесение действующего вещества сменилось ростом к 14-м суткам и достигала в образцах с концентрацией 13,3 мг/кг 34% относительно контроля. В дальнейшем, до конца эксперимента активность фермента во всех экспериментальных образцах была выше контрольных, но не превышала 24%.

Влияние действующего вещества на целлюлазу оценивалось по степени потери массы льняной ткани, помещенной в экспериментальные сосуды, после 45-х суток. Результаты исследования указывают, что в образцах с содержанием д.в. на уровне 0,13 мг/кг потеря массы ткани отличалась от контроля на 3,86%, в образцах с содержанием д.в. на уровне 1,3 мг/кг – на 1,66%, а в образцах с содержанием д.в. на уровне 13,33 мг/кг – на 6,43%, что говорит о том, что интенсивность разрушения клетчатки при воздействии всех концентраций можно оценить как очень слабое.

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, исследованный инсектицид не оказывал выраженного негативного влияния на биологическую активность и способность почвы к самоочищению в концентрациях в почве вплоть до 13,3 мг/кг.

УДК 631.46

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Погорелова О.Е.¹, Кириллова В.А.¹

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail: olga_27072000@mail.ru

Современное использование земельных ресурсов представляет собой сложную задачу, требующую внимательного рассмотрения и анализа. В условиях сельскохозяйственного производства необходимо не только учитывать воздействие человеческой деятельности на окружающую среду, но и строго придерживаться принципов экологического равновесия

для обеспечения устойчивого развития предприятий в долгосрочной перспективе. Региональная специализация и размещение сельскохозяйственного производства должны учитывать, как сложившийся производственно-экономический, так и природный потенциал территории.

Почвенно-экологическое районирование служит основой для разработки разнообразных специализированных видов районирования. В частности, земледельческое, природно-сельскохозяйственное, агроландшафтное, комплексное почвенно-агромелиоративное и почвенно-агрохимическое районирование направлены на оптимальное использование земельных ресурсов и сохранение уникального почвенного покрова страны. В данном исследовании была использована карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Агроклиматическое районирование территории также играет важную роль в оценке системы землепользования, учитывая климатические особенности региона при разработке адаптированных сельскохозяйственных практик. Для оценки соответствия возделываемых в Тверской области культур почвенно-климатическим условиям была использована карта «Агроклиматические ареалы с набором ведущих сельскохозяйственных культур».

В данном исследовании был применён комплексный подход, включающий сбор, обработку и пространственный анализ не только картографических, но и статистических данных. Статистические данные за 2012–2021 гг. были получены из Росстата.

Использовались сведения о площади посевов и урожайности культур на территории муниципальных районов Тверской области. Все собранные данные были стандартизированы и интегрированы в геоинформационную систему (ГИС), что позволило выполнять пространственный анализ и визуализацию информации.

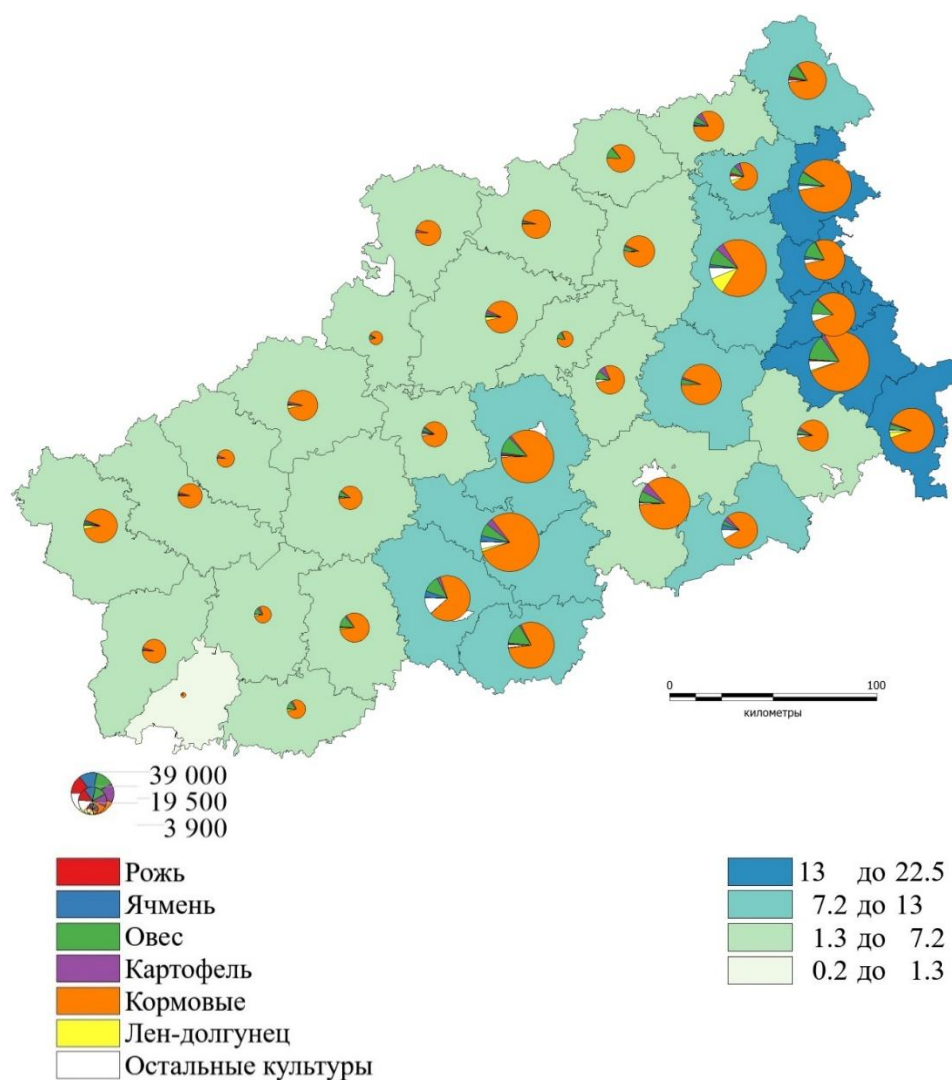
Согласно почвенно-экологическому районированию территория области расположена в двух почвенных провинциях: (Е2) Прибалтийская провинция дерново-мелко- и неглубокоподзолистых и болотно-подзолистых почв и (Е3) Среднерусская южнотаёжная провинция дерново-мелко- и неглубокоподзолистых почв. Провинции в свою очередь разделены на округа, которых на территории области – семь. Для каждого округа в пояснительном тексте карты качество почв отражено через средневзвешенный бонитет.

Для улучшения понимания того, какие районы лучшие с точки зрения качества почвенного покрова, бонитет с карты ПЭР был пересчитан на районы области.

Рассчитанные значения бонитета в районах варьируют от 24 до 40 баллов. Наиболее высокие баллы характерны для четырёх районов, расположенных на юго-западе области: Бельский, Оленинский, Ржевский и Зубцовский. Наиболее низкие баллы у четырёх районов на юго-востоке области: Калининский, Конаковский, Кимрский, Калязинский и двух на северо-востоке: Лесной и Весьегонский. Для того чтобы оценить насколько интенсивность сельскохозяйственного использования следует за качеством почв, были сопоставлены картограммы, отражающие долю площади занятой в районе под посевами и бонитет почвенного покрова в баллах.

Согласно карте Агроклиматического районирования Тверская область расположена в двух ареалах с перечнем рекомендуемых к возделыванию культур: Южно-таёжный северный, дерново-подзолистый с участием дерново-карбонатных и заболоченных почв, ржано-ячменно-овсяно-картофельно-льняной и кормовой, и Южно-таёжный центральный, дерново-подзолистый, ржано-ячменно-овсяно-льняно-картофельный и кормовой (с кукурузой на силос). В названии ареала перечислены культуры, для возделываний которых природные условия наиболее оптимальны.

Для получения представления о структуре посевов в каждом районе Тверской области, были рассчитаны значения средней площади наиболее возделываемых культур за период 2012-2021 г. и визуализированы в виде круговых диаграмм (рис.1).



Структура посевных площадей по районам, га Доля посевной площади в районе, %
Рисунок 1. Структура посевов по районам Тверской области

На основе собранных данных об урожайности возделываемых культур было рассчитано среднее значение урожайности за 10 лет, которое было визуализировано в виде серии картограмм. На основе построенных картограмм по урожайности культур были выбраны районы с наиболее высокой и низкой урожайностью.

Из районов, для которых характерны наиболее высокие баллы бонитета почвенного покрова, только один район характеризуется высокими показателями урожайности - Оленинский. Выделяются два района с высокими показателями урожайности, но самыми низкими показателями почвенного бонитета: Калининский и Весьегонский. При сопоставлении графиков почвенного бонитета и площади посевов, в которых районы были расположены в одинаковом порядке, планомерного роста площади посевов вслед за бонитетом - не обнаружено.

Наибольшая средняя урожайность культур, за исследуемый период в отдельных районах области следующая: рожь - 25 ц/га, ячмень - 32,5 ц/га, овёс - 17 ц/га, лён - 10 ц/га, картофель - 263 ц/га

Согласно карте агроклиматического районирования ведущей культурой, должна быть рожь. Её посевы практически отсутствуют на территории Тверской области или малы в сравнении с остальными возделываемыми культурами. Посевы ячменя, который является второй ареалобразующей культурой, присутствуют, но в лучшем случае составляют 5% в посевной структуре района. Посевы овса в отдельных районах занимают до 20%, однако, общие площади посевов там небольшие. Такая же ситуация по картофелю. Наибольшую

долю в структуре посевов практически всех районов занимают кормовые культуры (как правило, это многолетние травы).

Наиболее засеянными являются районы на юго-востоке области, при этом балл бонитета в некоторых из них относится к самому нижнему диапазону. В то время как районы с наиболее высоким баллом бонитета не отличаются высокой долей посевов, там они занимают не более 13% площади района.

Установлено, что набор возделываемых культур в целом соответствует агроклиматическому ареалу. Однако в структуре сильно преобладают кормовые культуры, которые не являются приоритетными в ареале. Наибольшая доля посевов приходится на районы, в которых бонитет почвенного покрова не является самым высоким по области. Часть районов с наибольшей долей посевов приходится на районы с самым низким значением балла бонитета.

УДК 631.46

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКОГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ НА ВЫСОХШЕМ ДНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

¹Раджаббоева Хилола Тоирбек кызы, ²Муродова Сайёра Сабиловна

^{1,2}Филиал Национального университета Узбекистана в г. Джизак, Узбекистан, e-mail: rajabbоеvaxilola@gmail.com

Аннотация. В последние годы регион Аральского моря столкнулся с тяжёлой формой экологических проблем. Понижение уровня воды и почти полное высыхание моря привели к климатическим изменениям, засолению почв и сокращению биоразнообразия. Тем не менее, в последние годы на высохшем дне Аральского моря внедряются новые инновационные методы развития сельского хозяйства и выращивания растений. В этом процессе важную роль играет технология производства жидких препаратов, повышающих плодородие почвы и улучшающих рост растений. Научно обоснованные исследования, направленные на озеленение территории Аральского моря, имеют огромное значение для снижения негативных последствий.

Ключевые слова: Аральское море, жидкий препарат, мясо-пептонный бульон, биопрепарат, сухой микробиологический препарат.

Озеленение высохшего дна Аральского моря, расширение популяций диких и культурных растений, адаптированных к данной зоне, улучшение экологической среды, повышение уровня жизни населения Муйнакского района, являющегося частью Приаралья, развитие промышленности, сельского хозяйства, в частности рыболовства, животноводства и садоводства — всё это стало важными направлениями реализуемых мероприятий. На высохшем дне Аральского моря высаживаются пустынно- и засухоустойчивые растения: саксаул, черкез, кандим, а также камыш арондо (ангелика), создаются «зелёные покровы», что способствует борьбе с солевыми и пылевыми бурями, улучшает экологическую ситуацию. Эти меры помогают предотвратить увеличение количества вредных загрязняющих веществ и создать защитные лесные массивы на обширной территории высохшего дна. Однако в Аральском регионе по-прежнему существует множество нерешённых экологических проблем, требующих постоянных и научно обоснованных практических решений [1,3,5,6].

Использование микробиологических биопрепаратов в качестве инновационного подхода для выращивания растений (саксаула, черкеза, кандима и др.) на высохшем дне Аральского моря имеет большое значение. Уникальные сложные условия данной территории делают применение биопрепаратов важным инструментом восстановления экосистемы. Засолённость почв создаёт крайне неблагоприятные условия для роста растений. Бактерии и микроорганизмы, входящие в состав биопрепаратов, разлагают соли, превращая их в безопасные формы, что облегчает усвоение питательных веществ

растениями. Благодаря этому растения могут эффективнее использовать почвенные ресурсы.

Высохшее дно моря представляет собой песчаную территорию, лишённую питательных веществ, поэтому микроорганизмы в биопрепаратах фиксируют атмосферный азот в почве, создавая дополнительный источник питания для растений. Кроме того, они переводят фосфор и другие важные элементы в формы, легко усваиваемые растениями. Биопрепараты повышают влагоёмкость почвы, что увеличивает устойчивость растений к засухе, а также способствуют образованию гумусового слоя, защищающего почву от ветровой эрозии [2,5].

Производство биопрепаратов для засоленных почв включает получение и сушку живых микроорганизмов (бактерий и грибов). Они повышают солеустойчивость растений, улучшают структуру почвы и обогащают её питательными веществами. В результате возникает возможность использования засоленных земель в сельском хозяйстве, уменьшается потребность в химических удобрениях и пестицидах, что делает производство продовольствия более экологичным и устойчивым [3,4].

Микроорганизмы, составляющие основу биопрепаратов, должны соответствовать определённым требованиям и обладать такими свойствами, как вирулентная активность, эффективность, конкурентоспособность, технологичность (способность накапливать необходимый титр в стандартных и производственных условиях). Основные требования к биопрепаратам: высокий титр активных клеток, длительный срок хранения, транспортабельность, технологичность (растворимость, сохранение на семенах и др.), способность к колонизации в почве или на поверхности растений, а также низкая стоимость [8].

При производстве жидких и сухих биопрепаратов увлажняющий порошок постепенно высушивается до концентрированной формы, полученной из культурной жидкости, и стандартизируется как готовый консервированный продукт [7,8].

Значение жидких препаратов. Высохшее дно Аральского моря в основном солёное и богато минералами, поэтому оно непригодно для традиционного сельского хозяйства. В таких условиях необходимы жидкие препараты, содержащие полный комплекс питательных веществ, легко растворимые в воде и быстро действующие на растения. Эти препараты снижают уровень засоленности почвы, улучшают её структуру и стимулируют рост растений.

Технология получения жидкого препарата:

1. Подготовка сырья. Сырьё, получаемое с высохшего дна Аральского моря, в основном состоит из минеральных солей и органических веществ. Сначала его очищают и отделяют от примесей.
2. Смешивание и растворение. Очищенное сырьё смешивается с водой и растворяется в специальных реакторах. В процессе растворения происходят химические изменения и реакции, обогащающие полученный жидкий препарат полезными для растений веществами.
3. Стабилизация и фильтрация. К полученной жидкости добавляются специальные стабилизаторы для адаптации к условиям хранения, затем жидкость фильтруется. Это обеспечивает сохранение качества препарата в течение длительного времени.
4. Упаковка и хранение. Готовые жидкие препараты упаковываются в специальные ёмкости и доставляются в сельскохозяйственные предприятия. Они предоставляются в готовом к использованию виде.

Преимущества технологии:

- оптимальное содержание питательных веществ для растений;

- снижение засоленности почвы и улучшение её структуры;
- укрепление корневой системы растений и ускорение их роста;
- экологически чистое производство без ущерба для окружающей среды.

Заключение. Таким образом, технология получения жидкого препарата для выращивания растений на высохшем дне Аральского моря является важным шагом в восстановлении территории и развитии сельского хозяйства. Эта инновационная технология не только смягчает экологические проблемы, но и способствует улучшению экономического состояния региона. В будущем развитие научных исследований и технологий в этой области позволит создать устойчивую систему сельского хозяйства в Аральском регионе.

Литература

1. G. Karimov, "Strategies for ameliorating saline soils in the Aral Sea area" International Journal of Agronomy, vol. 9, no. 4, pp. 65-72, 2020.
2. S. Murodova, M. Sobirova, X. Kiryigitov, M. Halkuzieva, D. Kuvondikova. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the cultivation of *Cynara Scolymus* L. under salinity stress. E3S Web of Conferences 434, 03006 (2023).
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343403006>
3. Stavi, I.; Priori, S.; Thevs, N. Editorial: Impacts of Climate Change and Land-Use on Soil Functions and Ecosystem Services in Drylands. Front. Environ. Sci. 2022, 10, 851751.
4. M. Sobirova, S. Muradova, M. Khojanazarova, Kh. Kiryigitov. Extraction of "Elicitor" and determination of volatile organic substances contained in the elicitor. E3S Web of Conferences 389, 01044 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338901044>
5. Т. Сапаров, "Soil salinization processes in the Aral Sea basin" Journal of Environmental Management, vol. 110, no. 1, pp. 93-101, 2021.
6. Z. Jabbarov, T. Abdrakhmanov, M. Tashkuziev, N. Abdurakhmonov, S. Makhammadiev, O. Fayzullaev, U. Nomozov, Y. Kenjaev, Sh. Abdullaev, D. Yagmurova, Z. Abdushukurova, Sh. Iskhakova, P. Kováčik. Cultivation of plants based on new technologies in the dry soil of the Aral Sea. E3S Web of Conferences 497, 03008 (2024).
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449703008>
7. Калуньянц, К. А., Голгер, Л. И. Микробные ферментные препараты (технология и оборудование). – М.: Пищевая промышленность, 1985. – 304 с.
8. Ходжаназарова М.Қ. Совершенствование технологии производства биопрепарата «Замин-М», повышающего плодородие засоленных почв. Дисс. ... канд. биол. наук. – Бухара, 2022. – 120 с.

УДК 631.4

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАВЯНИСТОГО И ПОДСТИЛОЧНОГО ПОКРОВОВ ЛЕСНЫХ И ЛУГОВО-СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ Романова А.А.¹, Алябина И.О.², Иванов А.В.³

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, romalina96@yandex.ru; ²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, alio@yandex.ru; ³МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, ivanovav@igras.ru

Продуктивность - количественная характеристика, определяющая степень участия растительности в производстве биопродукции посредством обеспечения почвы органическим веществом. Продукционные характеристики измеряют посредством определения ряда показателей, таких как фитомасса, мортмасса, общий запас растительного органического вещества, подстилка, годичный прирост. Числовые показатели определяют в единицах веса абсолютно сухого вещества на единицу площади или времени (т/га; т/га в год).

В настоящее время изучение неразрывных потоков вещества и энергии между почвой, растительностью и атмосферой становится очень востребованным, что связано с острой

проблемой современности – глобальными изменениями климата. Атмосферные показатели значительно влияют на изменения продуктивности растительности различных биоклиматических поясов, что в свою очередь напрямую выражается в изменениях физико-химических свойств почвы.

Целью данной работы является определение продуктивности естественных экосистем лесных и травяных сообществ на различных почвах в Саратовской и Волгоградской областях. Основной задачей исследования был отбор растительного материала с пробных площадей, наиболее полно отражающих растительное разнообразие выбранной территории, с совместным проведением геоботанического и почвенного описания площади отбора проб. Для решения поставленной задачи были изучены растительные сообщества лесных и травяных экосистем и описаны опорные почвенные профили, а также отобраны по адаптированной методике образцы надземной, наземной и подземной масс растительного материала для определения их массового показателя.

Площади опробования были установлены в Саратовской и Волгоградской областях на территориях распространения лесостепной, степной и полупустынной зон, для которых характерно преобладание чернозёмных и каштановых почв. Объектами исследования были растительные ассоциации и почвенный покров 4 пробных площадей. Точки 1 и 2 располагались в Базаро-Карабулакском районе Саратовской области (52°35' N; 46°10' E), точки 3 и 4 были опробованы в Дубовском (49°4' N; 44°51' E) и Камышинском (49°58' N; 45°20' E) районах Волгоградской области. Растительные образцы для исследований были отобраны по адаптированной методике: надземная растительная масса отбиралась с площади 50×50 см² в 9 кратной (в лесных сообществах, под тремя деревьями-эдикаторами) и в 5 кратной (в лугово-степных сообществах, методом «квадрата») повторности; подстилка отбиралась внутри площади надземной массы с площади 25×25 см²; подземная растительная масса отбиралась методом монолитов объемом 10×10×10 см³ до достижения глубины окончания массового распространения корней в 3 кратной (в лесных сообществах, в кроновом пространстве) и 5 кратной повторностях (в лугово-степных сообществах). Высушивание до абсолютно сухого состояния отобранных полевых образцов проводилось в лаборатории в крафтовых пакетах и тканевых мешках при 70°C на протяжении 4 часов.

Установлен состав растительного и почвенного покрова каждой точки: 1 - хвойно-дубовый рябиново-черемуховый земляничный лес, темно-серая типичная почва; 2 – разнотравно-ковыльная степь с фрагментарным мохово-лишайниковым покровом, светлогумусовая типичная; 3 – полынно-злаковая степь, каштановая со вторым гумусовым горизонтом; 4 – разнотравно-злаковый луг с преобладанием полыни и ковыля, каштановая типичная. Определено, что в лугово-степных сообществах на малогумусированных почвах надземной и подземной массы растительности больше, чем в травянистых и подстилочных покровах лесных сообществ. Показано, что под подстилкой в лесных ассоциациях формируется преимущественно темно-бурая окраска верхних горизонтов почвы.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №22-14-00107-П

УДК 338.439

ОТ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ К ГЛОБАЛЬНОЙ РОЛИ РОССИИ В УСТОЙЧИВОМ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Ромашкин Р.А., Шоба С.А.

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, e-mail ecfs.msu@gmail.com

За последнее десятилетие агропромышленный комплекс (АПК) России претерпел системную трансформацию, позволившую стране не только укрепить национальную продовольственную безопасность, но и занять значимое место на мировом аграрном рынке. Валовой объем сельскохозяйственной продукции за этот период увеличился на 24 %. Рост обеспечивался не только традиционными зерновыми культурами (+20 %), но и

высокомаржинальным сегментом масличных (+135 %), что свидетельствует о глубокой диверсификации отрасли и ее экспортной ориентации. Параллельно наблюдался значительный прогресс в импортозависимых сегментах: производство плодов и ягод возросло на 44 %, что способствовало улучшению обеспечения внутреннего рынка отечественной продукцией.

Успехи животноводства, выраженные в росте производства в свиноводстве (+65 %) и птицеводстве (+29 %), стали прямым следствием реализации программ импортозамещения и масштабных инвестиций в создание современных производственных комплексов.

Ключевым результатом прошедшего десятилетия стал переход России из чистого импортера в чистого экспортера продовольствия. Данная трансформация подкреплена значительными количественными показателями: объем экспорта агропродовольственной продукции увеличился в 2,3 раза, а его доля в общем объеме производства достигла 45 %, что демонстрирует глубокую интеграцию отечественного АПК в мировую экономику. Этот сдвиг был обеспечен синергетическим эффектом от двух направлений государственной политики: импортозамещение высвободило значительную часть внутреннего рынка для отечественных товаров, а целенаправленное стимулирование экспорта создало мощный драйвер для наращивания производства и повышения его конкурентоспособности.

Системная трансформация российского АПК оказала значительное влияние на укрепление национальной продовольственной безопасности. Интегральный показатель самообеспеченности в 2023 г. увеличился до 86 %, что свидетельствует о высокой степени независимости страны от импорта по основным категориям продовольствия. Особенно значительные результаты достигнуты в производстве растительных масел, хлебопродуктов и рыбы. Уровень самообеспеченности мясом и мясопродуктами превышает 100 %.

Ключевые показатели продовольственной безопасности России относительно рациональных норм потребления

Товарная группа	Уровень наличия, %		Уровень самообеспеченности, %	
	2015 г.	2023 г.	2015 г.	2023 г.
Картофель	101	96	103	95
Овощи и бахчевые	73	75	66	69
Плоды и ягоды	60	66	20	32
Мясо и мясопродукты	100	110	89	108
Молоко и молокопродукты	72	76	59	67
Яйца и яйцепродукты	105	112	101	109
Рыба и рыбопродукты	101	103	135	147
Сахар и кондитерские изделия	163	163	96	105
Масло растительное	113	115	122	213
Хлебопродукты	123	117	124	149
Интегральный индекс	81	91	83	86

Источник: Евразийский центр по продовольственной безопасности МГУ

Несмотря на общую положительную динамику, сохраняются существенные диспропорции в уровне самообеспеченности по отдельным товарным группам. Наиболее низкие показатели отмечаются по фруктам и ягодам (32 % в 2023 г.), овощам (69 %) и молоку (67 %). Основными причинами являются климатические ограничения для садоводства и овощеводства открытого грунта, высокая капиталоемкость и длительные сроки окупаемости проектов в данных отраслях, а также сезонная зависимость от импортных поставок.

Анализ уровня наличия продовольствия, отражающего доступность продуктов питания через все источники поступления в соответствии с рациональными нормами потребления, показывает достижение показателя в 91 % в 2023 г. При этом выявлены значительные дисбалансы в структуре потребления основных пищевых продуктов. Наблюдается системное недопотребление населением физиологически необходимого количества наиболее ценных в пищевом отношении продуктов (овощей и бахчевых культур, фруктов и ягод, молока и молочных продуктов), что ведет к дефициту в организме клетчатки и белка. В то же время чрезмерное потребление продуктов, содержащих быстрые углеводы (сахар, сладости, кондитерские изделия, белый хлеб и др.), насыщенные жиры и трансжиры растительного происхождения, способствует устойчивому росту ожирения, создавая значительные риски для здоровья населения.

Таким образом, достигнутый прогресс в укреплении продовольственной безопасности характеризуется определенной дуальностью: с одной стороны, наблюдается высокая степень самообеспеченности по основным продуктам, с другой – сохраняются значительные проблемы в обеспечении населения полноценным питанием. Данная ситуация определяет приоритетные направления дальнейшего развития АПК, которые должны быть сфокусированы на преодолении структурных дисбалансов.

Достигнутая устойчивость роста стала фундаментальным фактором, позволившим России перейти к статусу глобального поставщика продовольствия. В этой связи Доктрина продовольственной безопасности России, актуализированная в 2025 г., делает акцент не только на обеспечении продовольственной независимости, но и на необходимости экспортной диверсификации и расширении международного партнерства в целях реализации совместных проектов и программ, наращивания научно-промышленного сотрудничества для развития производства агропродовольственных товаров, племенной продукции и семян основных сельскохозяйственных культур.

Сегодня Россия является крупнейшим экспортером пшеницы с долей на мировом рынке порядка 20–22 %. Для многих государств Африки, Ближнего Востока и Азии российские поставки зерна являются ключевым фактором продовольственной стабильности. Важным элементом глобального влияния России также выступает ее роль на рынке минеральных удобрений, без поставок которых становится невозможным поддержание урожайности в мировом масштабе и, как следствие, обеспечение продовольствием растущего населения планеты.

Однако в современных условиях роль в глобальном продовольственном обеспечении определяется не отдельными странами, а крупными интеграционными объединениями, способными формировать новые центры силы. В этом контексте ключевое стратегическое значение приобретает перспективное межгосударственное объединение БРИКС, которое, после расширения в 2024–2025 гг. представляет беспрецедентный по своим масштабам геэкономический блок, концентрирующий около 50 % мирового населения, свыше 35 % глобального ВВП, измеренного по паритету покупательной способности. Страны-участницы обладают колоссальными природными ресурсами, разнообразием климатических зон и огромным аграрным потенциалом. В БРИКС формируются 55 % добавленной стоимости мирового сельского хозяйства. Это крупнейший демографический и потребительский рынок.

Уникальность БРИКС заключается в высокой степени взаимодополняемости аграрных секторов стран-участниц, что создает условия для формирования замкнутой, устойчивой продовольственной системы. Страны БРИКС производят широкий спектр продукции – от зерна (Россия) и сои (Бразилия) до тропических культур (Индонезия, Эфиопия) и высокотехнологичной продукции (ОАЭ, Китай). Некоторые страны контролируют ключевые нишевые рынки. Например, Иран контролирует рынок шафрана, Эфиопия и Бразилия – рынок кофе, Эфиопия – рынок теффа. Китай и ОАЭ демонстрируют растущую роль в агроинновациях и продовольственной безопасности в условиях нехватки ресурсов. Особый интерес представляет их опыт в области вертикального фермерства и аквапоники.

Для Бразилии страны БРИКС являются сверхважным рынком сбыта: 49 % всего ее агроэкспорта направляется в страны-партнеры. В основном это соя, мясо и сахар, поставляемые в Китай. В свою очередь Китай является главным потребителем: низкая доля его экспорта во взаимной торговле (10 %) и огромные объемы импорта из Бразилии и России четко показывают роль страны как центра потребления внутри блока. Общая доля взаимной торговли в агроэкспорте всего блока достигает 32 %, что свидетельствует о гораздо более высокой степени интеграции, чем принято считать. Это существенно выше, чем, например, в Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС), где степень интеграции составляет порядка 24 %. В этой связи ЕАЭС демонстрирует уникальный пример, когда высокая степень правовой и таможенной интеграции не приводит к доминированию взаимной торговли в агросекторе из-за глобальной конкурентоспособности сырьевого экспорта его основных участников.

Таким образом, БРИКС является не просто политическим форумом, а де-факто сформировавшейся интегрированной экосистемой агропродовольственных потоков. При этом страны-участницы сталкиваются с общими вызовами.

Прежде всего, это климатические изменения, которые проявляются в виде учащающихся засух (в России, Бразилии, ЮАР), наводнений (в Китае, Индии), опустынивания (в Иране, Эфиопии, Египте) и роста численности вредителей. Снижение урожайности в ключевых аграрных регионах – прямой риск для глобального предложения.

Второй общий вызов – это продовольственное неравенство. По данным международных организаций, сотни миллионов людей на планете продолжают страдать от недоедания и недостатка качественной пищи.

Следующий вызов – это уязвимость цепочек поставок: Пандемия COVID-19 и текущая геополитическая нестабильность показали, насколько хрупкими могут быть глобальные логистические маршруты. Зависимость от проливов и портов третьих стран создает стратегические риски.

Наконец, страны-участницы сталкиваются с высокой ценовой волатильностью. Резкие скачки цен на зерно, растительные масла и удобрения, такие как в 2022-2023 гг., дестабилизируют рынки и делают продовольствие недоступным для беднейших слоев населения и стран.

В ответ на эти вызовы в рамках БРИКС формируется комплексная система новых механизмов продовольственной стабильности. Страны объединения перешли к обсуждению вопросов создания зерновой биржи БРИКС – альтернативной торговой площадки, где расчеты будут вестись в национальных валютах, а ценообразование будет более прозрачным и защищенным от спекуляций. Это позволит странам-участницам напрямую влиять на формирование цен на ключевые товары.

Другая важная инициатива – формирование сети стратегических запасов зерна и других основных продуктов питания в ключевых логистических узлах. Эти резервы будут использоваться для стабилизации цен в период кризисов и оказания гуманитарной помощи.

Важны также инициативы по обмену технологиями в области сельского хозяйства, совместные инвестиции в агропромышленный комплекс. Это позволит развивать и внедрять в АПК цифровые решения, такие как мониторинг урожайности, прогнозирование климатических рисков, использование систем точного земледелия и др., что в совокупности способствует переходу к устойчивой модели развития АПК.

Кроме того, в этом году в рамках БРИКС создано партнерство по восстановлению земель. Этот проект направлен на борьбу с деградацией почв, внедрение устойчивых методов сельского хозяйства и лесоводства, таких как агроэкология и агролесоводство.

Партнерство призвано объединить усилия стран БРИКС в сфере научных исследований, обмена лучшими практиками и мобилизации финансовых ресурсов для восстановления экосистем.

Указанные инициативы свидетельствуют о том, что БРИКС формирует собственную архитектуру продовольственной безопасности, основанную на солидарности и взаимной поддержке. Россия в этом процессе занимает особое место.

Во-первых, как крупнейший поставщик зерна и один из главных производителей удобрений, Россия обеспечивает базовую стабильность продовольственных рынков для партнеров по БРИКС и стран-импортеров в Африке и на Ближнем Востоке.

Во-вторых, российские научные школы в области селекции, генетики и защиты растений, а также опыт адаптации сельского хозяйства к климатическим изменениям представляют высокую ценность для других участников блока.

В-третьих, Россия продвигает инфраструктурные проекты, которые повышают устойчивость логистики. Среди них – развитие международного транспортного коридора «Север–Юг», который позволяет обеспечить более надежные поставки продовольствия в разные регионы и снизить логистические риски для партнеров. Ключевым драйвером и важнейшим компонентом развития магистрального коридора «Север–Юг» является проект «Евразийский агроэкспресс» по ускоренной перевозке грузов, который решает одну из самых сложных логистических задач – транспортировку скоропортящейся продукции, тем самым повышая общую привлекательность, загрузку и эффективность всего коридора. Наконец, успешный российский опыт построения продовольственного суверенитета служит моделью для других стран, стремящихся снизить зависимость от глобальных цепочек, контролируемых западными корпорациями.

Таким образом, обеспечение продовольственной безопасности эволюционирует от стратегии суверенизации и защиты внутреннего рынка к активному формированию глобальной продовольственной системы. Российская Федерация, совершив переход от импортной зависимости к экспортной ориентации, является наглядным примером данной трансформации. При этом объединение БРИКС, обладающее беспрецедентным демографическим, ресурсным и экономическим потенциалом, объективно становится главным архитектором новой полицентричной модели глобального продовольственного обеспечения. Реализация таких структурных проектов, как зерновая биржа, общие продовольственные резервы, масштабные научные программы и альтернативные логистические коридоры, не только повысит устойчивость стран-участниц к общим вызовам, но и заложит основу для надежного и предсказуемого продовольственного будущего для миллиардов людей.

УДК 004.942

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ AQUASCOP С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Смирный Т.В., Цымбарович П.Р., Толстыгин К.Д., Фомин Д.С.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, smirny_tv@esoil.ru

Калибровка AquaScop необходима для адаптации модели к локальным почвенно-климатическим условиям и агротехнологиям, поскольку типовые параметры нередко недостаточно точны для прогноза урожайности и водного стресса. Калибровка модели требует учёта множества факторов, что усложняет подбор согласованных параметров. Для решения этой задачи разработан пайплайн, автоматизирующий поиск и валидацию параметров на основе наблюдаемой урожайности и набора предикторов.

На первом этапе выполняется предварительная подготовка данных: объединение статистики по урожайности с почвенными признаками (доли песка/суглинка/илистых фракций) и управленческими показателями (объём внесённых удобрений, посевные площади), проверка логики и формирование унифицированного обучающего набора. Это обеспечивает сопоставимость источников и корректное вычисление целевой переменной (урожайности культуры).

Оптимизация параметров реализована на базе Python-библиотеки Optuna с байесовским отбором проб в физически обоснованных диапазонах. Калибруются ключевые блоки водного стресса и развития полога: пороговые доли исчерпания влаги для расширения полога (p-exp), устьичной регуляции (p-sto), сенесценции (p-sen) и опыления (p-pol); факторы формы кривых стресса; объёмная доля для анаэробной точки; коэффициент роста полога (CGC – коэффициент роста полога; Canopy Growth Coefficient). Встроенные ограничения на взаимосвязанные параметры и физические пределы предотвращают некорректные комбинации и обеспечивают согласованность с логикой расчёта модели. Качество калибровки оценивается по совокупности метрик (RMSE (root mean squared error; корень среднеквадратической ошибки), Bias, SMAPE (symmetric mean absolute percentage error; симметричная средняя абсолютная процентная ошибка) на наборе сезонов. Визуальная проверка включает графики «предсказано–смоделировано» по годам, распределения ошибок и сводные панели метрик. Результатом работы служит откалиброванный набор параметров для последующей симуляции сценариев. Таким образом, предложенный пайплайн представляет собой инструмент локальной адаптации AquaCrop, объединяющий автоматизированный поиск параметров, многофакторную оценку качества и интерпретируемость, что делает его пригодным для прогноза урожайности и анализа водообеспеченности в различных территориальных условиях.

УДК 004.912:63

РАЗРАБОТКА ИИ-АГЕНТА ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ТЕКСТОВ В ОБЛАСТИ ПОЧВОВЕДЕНИЯ, СЕЛЕКЦИИ И РАСТЕНИЕВОДСТВА

Солдаткина М.А., Фомин Д.С., Цымбарович П.Р.

Почвенный институт им. В.В.Докучаева, Москва, soldatkina_ma@esoil.ru

Современный агропромышленный комплекс обуславливает необходимость оперативного сбора и обработки данных о сортах и гибридах растений, а также систематического обновления этих данных за счёт появления новых сортов и их описаний. Большие языковые модели (БЯМ) открывают возможности автоматического извлечения фактов из неструктурированных текстов, однако в естественно-научных дисциплинах требования к качеству и верифицируемости данных выше, чем в типичных прикладных сценариях использования искусственного интеллекта (ИИ). В этих условиях актуальна задача создания инструмента, преобразующего предметный текст в согласованные, машиночитаемые структуры базы данных (БД), пригодные для аналитики и моделирования.

Цель исследования — разработать ИИ-агента для нормализации текстов в узкопрофильных доменах (агрономия, селекция) на материале публикаций Государственного реестра селекционных достижений, допущенных к использованию (Госсортреестр), а также инициировать обсуждение об архитектурных принципах, прикладной роли ИИ-агентов в почвоведении и потенциальной траектории развития. Рост интереса к системам наподобие ChatGPT стимулировал изучение их возможностей и прикладной ценности в различных областях, в том числе в науках о земле и сельском хозяйстве. Современные работы показывают, что большие языковые модели эффективно автоматизируют извлечение информации из профильных текстов, тогда как подходы, основанные на правилах и шаблонах, становятся всё более трудоёмкими по мере роста объёма и разнообразия данных. Важным источником информации выступают текстовые описания, публикуемые Госсортреестром, содержащие сведения о хозяйственно значимых и биологических признаках растений, морфологических характеристиках, а также об устойчивости к болезням и абиотическим факторам. Преобразование этих данных в структурированный машиночитаемый формат обеспечивает их интеграцию в системы

поддержки принятия решений и аналитические модули, что, в свою очередь, позволяет формировать прикладные рекомендации — от подбора схем внесения удобрений до выбора оптимальных средств защиты растений.

Разработан прототип, обеспечивающий сквозной конвейер от неструктурированных описаний сортов к реляционной базе данных свойств, что даёт возможность выполнять сложные составные запросы и поисковые фильтры. Решение включает в себя последовательные этапы: (1) декомпозиция исходного текста в промежуточное представление в формате JSON с помощью большой языковой модели, где выполняется разметка сущностей и их атрибутов; (2) экстракция ключевых характеристик (урожайность, длительность вегетационного периода, родословная, устойчивость к болезням и вредителям, устойчивость к абиотическим факторам) с применением моделей с открытым исходным кодом; (3) приведение данных к нормализованному виду по формальным схемам валидации, формирование первичных и внешних ключей; (4) загрузка в БД с обеспечением ссылочной целостности.

Дальнейшее развитие предполагает: использование агентных фреймворков для повышения автономности (самооценка моделями результатов и обратная связь), расширение источников (научные публикации, данные полевых экспериментов), усиление контроля качества, а также реализация извлечения данных, где пользователь задаёт целевые свойства формальными спецификациями в виде схем.

УДК 631.46

СЕСКВИТЕРПЕНОВЫЕ ЛАКТОНЫ В ПОЧВЕННОМ СОСТАВЕ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Сыздыкова А.Б.

¹Астана международный университет, Астана, e-mail syzdykova.aylina@gmail.com;

Название работы: Сесквитерпеновые лактоны в почвенном составе Акмолинской области

Введение: Антимикробная и противотрипаносомная активность сесквитерпеновых соединений из экстрактов различных видов *Anthemis* изучалась ранее. А именно богат смесью изомерных лабдановых сесквитерпенов экстракт из цветков *A. tinctoria*. Помимо сесквитерпеновых лактонов почва богата полифенолов, флавоноидов, антоцианами (0,803 ± 0,029 мг экв.).

Актуальность:

Физико-химические изменения, вызванные кислородом или теплом (поступающим в растение во время сушки или измельчения и гидродистилляции), может привести к автоокислению компонентов ЭМ. Действительно, считается, что температура, свет, а также доступность кислорода оказывают наиболее решающее влияние на стабильность эфирного масла. Поскольку терпеновые компоненты, как правило, являются как летучими, так и термолабильными и могут легко окисляться или гидролизироваться в зависимости от их соответствующей структуры, общепризнанно, что химический состав эфирных масел, кроме того, зависит от условий во время обработки и хранения растительного материала, при дистилляции, а также в ходе последующей обработки самого масла.

Цель и задачи:

1. Выявить присутствие, пространственное распределение и концентрационные характеристики сесквитерпеновых лактонов в почвенном покрове Акмолинской области, а также связать их содержание с растительным сообществом и типом почв.
2. Выполнить обзор флоры Акмолинской области с акцентом на виды-источники сесквитерпенов (особенно Asteraceae) и составить перечень приоритетных таксонов для полевых работ.
3. Разработать и валидация методики извлечения и количественного определения сесквитерпенов из почвы (оптимизация экстракции, очистки и аналитики).

Методы исследования:

Отбор: 50–200 g почвы были упакованы в стеклянные/полиэтиленовые банки.

Пластиковые не были использованы так как летучие компоненты оказывают влияние на вес отобранной пробы.

Сушка: в атмосфере при комнатной температуре или в вакууме при ≤ 40 °C. Летучие сесквитерпеновые лактоны были получены с использованием вакуума.

Диспергирование: просеять (2 mm), однородно перемешать. Были перемешаны и просеяны полученные пробы. Во избежания улетучивания компонентов пробы закрывали крышкой.

Подвижность ионов сесквитерпеновых лактонов в буферных растворах проведены с использованием стандартных растворителей, описанных в литературе.

Результаты

Сравнительный анализ показывает, что наиболее устойчивым с точки зрения стандартного отклонения оказался ЭДТА-буфер, что делает его предпочтительным для аналитических целей, где важна точность и минимизация погрешностей. В то же время ацетатный и аммиачный буферы могут использоваться при менее жёстких требованиях к воспроизводимости, либо в случаях, когда важны их специфические свойства (например, аммиачный буфер для осаждения ионов металлов).

Закключение

В верхнем горизонте (0–10 см) чернозёмов Акмолинской области было зафиксировано максимальное содержание сесквитерпеновых лактонов — до 2,8 мг/кг, что связано с доминированием видов рода *Artemisia*. В каштановых почвах и солонцах концентрации были существенно ниже (0,4–0,7 мг/кг). Отмечена положительная корреляция между содержанием органического вещества и концентрацией сесквитерпеновых лактонов ($r = 0,72$). Проведённое исследование показало наличие и распределение сесквитерпеновых лактонов в почвенном покрове Акмолинской области. Наибольшие концентрации выявлены в верхнем горизонте чернозёмов, что связано с обилием представителей семейства Asteraceae. Полученные результаты подтверждают их роль как биомаркеров взаимодействия растительности и почвы и открывают перспективы дальнейшего изучения их влияния на биоразнообразие и агроценозы региона.

Оглавление

Секция 1. Почвенные ресурсы: оценка состояния и рациональное использование	4
Секция 2. Экологические функции почв в биосфере и методология экологического почвоведения.....	59
Секция 3. Продуктивность агроэкосистем и продовольственная безопасность	254