

Российская академия наук
Пушкинский научный центр биологических исследований
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения

МАТЕРИАЛЫ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ, ПОСВЯЩЕННОЙ
50-ЛЕТИЮ ИФХиБПП РАН

**«ПОЧВА КАК КОМПОНЕНТ БИОСФЕРЫ:
ЭВОЛЮЦИЯ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ»**

(Пушино, 9–13 ноября 2020 г.)

Товарищество научных изданий КМК
Москва 2020

Материалы Всероссийской научной конференции «Почва как компонент биосферы: эволюция, функционирование и экологические аспекты» / М., Пушкино: Товарищество научных изданий КМК, 2020. – 234 с.

Сборник содержит материалы одноименной Всероссийской научной конференции, посвященной 50-летию ИФХиБПП РАН. Представлены материалы по важнейшим проблемам эволюции и экологии почв в условиях глобальных изменений климата, изучению закономерностей формирования и функционирования почвенного покрова в геологической истории Земли, исследованиям палеопочв палеозоя, эволюции педосферы и биосферы, динамики почвенных процессов, круговороту биофильных элементов в почве, значению криосферы в глобальном круговороте вещества и энергии и консервации генетических ресурсов, математическому моделированию почвенных процессов и экосистем, моделированию круговорота органического вещества в системе «почва-растение».

Сборник будет полезен широкому кругу ученых-почвоведов, географов, геохимиков, экологов и другим специалистов, занимающихся проблемами биосферы и охраны природы., а также студентам, аспирантам и преподавателям естественно-научных специальностей высших учебных заведений.

Рекомендовано к изданию Ученым советом ИФХиБПП РАН

Редакционная коллегия
И.В. Иванов, В.Н. Кудеяров, А.В. Лупачев,
Д.Л. Пинский, И.В. Припутина, С.Н. Удальцов



*Публикация осуществлена при поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований (грант № 20-04-22018)*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научная конференция «Почва как компонент биосферы: эволюция, функционирование и экологические аспекты» организована с целью обсуждения ведущими специалистами совместно с молодыми учеными фундаментальных вопросов и актуальных тенденций развития современного почвоведения и всесторонней апробации результатов почвенных исследований, проводимых научными коллективами из разных регионов страны и в содружестве с зарубежными коллегами. Конференция организована Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук (ИФХиБПП РАН) совместно с Научным советом по почвоведению РАН, Обществом почвоведов им. В.В. Докучаева на базе Федерального исследовательского центра «Пущинский научный центр биологических исследований Российской академии наук». Конференция приурочена к 50-летию Института физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук. Программа и тематика конференции, задумана как объединение в рамках единого научного мероприятия наиболее актуальных направлений современного почвоведения, что позволило собрать одновременно исследователей, специализирующихся в самых разных областях науки о почвах и дает возможность компетентного обсуждения междисциплинарных исследований на стыке почвоведения и смежных наук.

В сборнике обсуждаются важные проблемы и достижения в различных направлениях исследования почв. Это фундаментальные вопросы изучения генезиса и эволюции почв, их компонентного состава и связи с условиями формирования почвенного покрова в разные геолого-исторические эпохи. Теоретические и методические проблемы исследования элементарных почвенных процессов, их отражение в морфологическом профиле почв и возможности индикации. Одновременно затрагивается тема палеореконструкций климата и условий хозяйственной деятельности человека на основе почвенных данных (включая погребенные почвы археологических памятников) с целью разработки моделей и прогноза последствий современных климатических изменений.

Обсуждаются так же физико-химические и биологические процессы почвообразования и трансформация природных и экзогенных химических веществ в почвах и экосистемах. Представлен широкий спектра вопросов современного почвоведения – от новых инструментальных методов изучения элементного состава, физико-химических и биологических свойств разных типов почв до разработки и обоснования методов диагностики состояния почв, оценки их техногенного загрязнения и ремедиации. Затрагиваются теоретические вопросы изучения механизмов устойчивости почв с акцентом на основные классы химических соединений, загрязняющих почвенный покров в результате хозяйственной деятельностью человека.

В сборнике представлены материалы анализа биосферных функций почвенного покрова. Основное внимание уделено различным аспектам изучения углеродного цикла и минерализации органического вещества. Затронуты вопросы биогеохимии азота и углерода. Фундаментальные теоретические исследования в рамках данного направления востребованы в связи с современными климатическими изменениями, проблемой сохранения почвенных ресурсов и биоразнообразия, необходимостью поддержания плодородия почв России в условиях интенсификации сельского и лесного хозяйства.

В материалах обсуждаются вопросы формирования и специфики почвенного покрова и ландшафтов в условиях криолитозоны, проблемы их устойчивости в связи с климатическими изменениями и антропогенным загрязнением, а также вопросы изучения видового разнообразия и условий функционирования биоты в почвах криолитозоны и многолетнемерзлых отложений.

Традиционно рассмотрены некоторые теоретические аспекты современного моделирования почвенных и экосистемных процессов: возможности математического описания процессов минерализации растительных остатков и органического вещества почв и почвенной эмиссии CO_2 ; моделирование переноса CO_2 на границе почва-атмосфера; описание динамики почвенной микробиоты.

Мы рады, что конференция получила отклик, что на страницах сборника можно увидеть не только знакомые фамилии, ведь это означает, что интерес к исследованию почвы как компонента биосферы ширится.

Мы благодарны всем, кто проявил интерес к конференции.

Оргкомитет

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ КРИОЛИТОЗОНЫ: МЕХАНИЗМЫ, ПРОЦЕССЫ, ТРЕНДЫ¹

Е.В. Абакумов

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
e_abakumov@mail.ru, e.abakumov@spbu.ru*

Арктический регион рассматривается как наиболее изменяющийся на Земле. Россия имеет существенные доли площадей, занятых полярными экосистемами, что является очень важным для стабильного развития ландшафтов и экосистем, а также инфраструктуры. Соединения органического углерода являются важнейшим, частично возобновимым, природным ресурсом Арктического пояса, определяющим характер и условия развития наземных экосистем. Большая часть органического углерода полярного пояса сосредоточена именно в почвах, биоседиментах и позднелайстоценовых отложениях ледового комплекса криолитозоны. На современном этапе развития почвенной науки наблюдается ярко выраженный недостаток количественных и, особенно, качественных оценок запасов и состояния соединений углерода в мерзлотных почвах. Это связано с отсутствием детального охвата Российской Арктики полевыми почвенно-географическими исследованиями, необходимыми для верификации результатов моделирования, а также с сильной кластеризацией исходных данных, используемых для обобщений. Одна из главных задач почвоведения и экологии состоит в разработке параметров и индексов оценки степени стабилизации пулов органического вещества. При этом в ключевых участках криолитозоны необходимо проведение оценки количественных запасов органического вещества, определение качественного анализа его компонентного состава, изучение уровней стабилизации органического вещества и моделирование процессов его трансформации и стабилизации. Все это при увеличении охвата исследований будет способствовать уменьшению величин ошибок в глобальных и региональных запасах, а также будет способствовать увеличению точности прогнозных сценариев поведения системы органического вещества наземных экосистем в различных сценариях развития климатической ситуации. Современное почвоведение оперирует в основном категориями содержания и запасов органического вещества в почвах криогенных экосистем, при этом крайне недостаточно сведений об уровнях и процессах молекулярной стабилизации органического вещества. Для выполнения этой задачи необходимо создание коллекций почвенных проб и препаратов гуминовых веществ (гумотеки) полярного пояса. Пробы органического вещества в ненарушенном состоя-

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты №№ 19-54-18003, 19-05-50107, 18-04-00900.

нии и в препаративных изолятах при исследовании спектроскопическими методами (полядерная спектроскопия ядерного магнитного резонанса, спектроскопия электронного парамагнитного резонанса) дают уникальную информацию о молекулярных механизмах стабилизации органического вещества. К сожалению, такие данные для почв и биоседиментов Арктического пояса являются единичными. Минерализационные кривые стабилизации органического вещества получены для единичных объектов в Арктическом поясе. Необходима постановка серии воспроизводимых полевых экспериментов в различных широтных и фациальных секторах Арктического пояса. Глобальные климатические изменения становятся все более драматическими для полярных регионов Земли и для криолитозоны в целом. Климатические изменения и возрастающие риски приводят не только к локальным потерям углерода в полярных экосистемах, но и к переносу микрочастиц органического углерода на огромные расстояния, что в высоких широтах способствует в том числе таянию ледников. Изучение процессов переноса, стабилизации и трансформации органического вещества криоконитов является важнейшей задачей междисциплинарных исследований. Пирогенный фактор приводит к накоплению в экосистемах полициклических ароматических углеводородов антропогенного происхождения. Масштабы этого процесса недоисследованы и недооценены, хотя уже сейчас очевидно, что молекулы некоторых полициклических ароматических углеводородов могут интегрироваться с макромолекулы природных гуминовых полимеров. Таким образом, существует комплексная междисциплинарная проблема изучения системы органического вещества наземных экосистема криолитозоны, которая при своевременном решении позволит перейти к верифицированному и научно-обоснованному принятию решений в области природопользования и экологического менеджмента.

УДК 631.4

ВТОРОЙ ГУМУСОВЫЙ ГОРИЗОНТ В ПОЧВАХ РУССКОЙ И ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИН: ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ, ГЕОГРАФИЯ И ГЕНЕЗИС²

А.Л. Александровский

Институт географии РАН

Второй гумусовый горизонт (ВГГ) – наиболее распространенный и ярко выраженный реликтовый признак в профиле современных текстурно-дифференцированных почв средней полосы Русской и Западно-Сибирской равнин, и некоторых других регионов. Впервые данный признак был детально

² Работа подготовлена по теме Государственного задания № 0148-2020-0006.

охарактеризован на примере дерново-подзолистых почв Западной Сибири (Драницын, 1914, 2015) и серых лесных почв Северного Кавказа (Яковлев, 1914, 2015). Драницын назвал эти почвы вторично-подзолистыми, а С.А. Яковлев – серыми лесными по чернозему. Затем эти почвы были обнаружены и на Русской равнине (Иванова, Двинских, 1944; Хантулев, Гагарина, 1972 и др.).

Изначально данные горизонты были определены как остаточно-черноземные или остаточно-луговые в профиле лесных почв: после смены степи (луга) на лес сохранилась нижняя часть исходных тёмных гумусовых горизонтов, а верхняя деградировала в результате оподзоливания. Затем появились иные гипотезы, объяснявшие появление ВГГ погребением почв, современными процессами иллювиирования гумуса, наследием доголоценового педогенеза и другие. Среди ВГГ по Н.А. Караваевой (1986) выделяются (1) инситные педореликты: палеоклиматогенные, палеогидрогенные, турбационные и др.; (2) погребенные педо- и литореликты и (3) литореликты. По нашему мнению только палеоклиматогенные педореликты соответствуют собственно определению ВГГ.

Идентифицировать «истинные» ВГГ можно на основе привлечения методов смежных наук. Радиоуглеродные даты подобных ВГГ обычно относятся к среднему голоцену, что не соответствует иллювиальной и доголоценовой гипотезам. В них нередко находят пыльцу степных растений. В ареалах распространения ВГГ обнаружены ранние курганы, под которыми погребены черноземы или темногумусовые почвы, генетически связанные с данными ВГГ. Также ВГГ имеют определенную характерную глубину залегания: они лежат в пределах элювиального или в верхней части иллювиального горизонтов лесных почв. Причем глубина залегания ВГГ достаточно строго коррелируется с мощностью темноокрашенного гор. А исходных почв. В отличие от ВГГ погребенные почвы встречаются локально, глубина их залегания произвольна, они часто лежат под наклоном, а их возраст определяется локальным временем погребения.

В лесной зоне центральной части Русской равнины кроме курганов погребенные черноземы и лугово-черноземные почвы первой половины голоцена найдены в пойме рек. Так, в пойме Москвы-реки изучен мощный чернозём с хорошо развитым карбонатным горизонтом и крупными кротовинами (глубина 4 м, возраст $10810 \pm 105 - 5690 \pm 166$ кал. л.н., Александровский и др., 2018). Обычно же карбонаты выщелачиваются после погребения. Далекое расположение палеочерноземов в пределах лесной зоны свидетельствует о больших изменениях климата в голоцене в пределах исследованного региона.

Отметим, что решение проблемы ВГГ только по данным изучения современных почв бесперспективно. Необходимо более широкое привлечение палеопочв. Так на основе исследования палеопочв курганов Центральной Европы многие исследователи, несмотря на большое влияние схемы Блitta-Сернандера, приходят к выводу о том, что в первой половине голоцена

выявляется длительный период формирования черноземов (Kabała et al., 2019 и многие другие). Для того времени предполагается широкое распространение ареалов степей, от которых в позднем голоцене сохранились лишь небольшие участки.

В географии ВГТ четко прослеживаются большие различия, которые видны и в его морфологии и возрасте. Они четко увязываются с биоклиматическими различиями территории. Возраст ВГТ на севере ареала раннеголоценовый, а на юге, в лесостепи, он формировался до похолодания малого ледникового периода. В целом почвы с ВГТ на территории Русской и Западно-Сибирской равнин распространены значительно шире, чем представляется в почвоведении. Необходимо их дальнейшее исследование.

Литература

1. Александровский А.Л. Эволюция почв Восточной Европы на границе между лесом и степью. Естественная и антропогенная эволюция почв. М.: Наука, 1988. С. 82-94.
2. Александровский А.Л., Е.Г. Ершова, Е.В. Пономаренко, Н.А. Кренке, В.В. Скрипкин Природные и антропогенные факторы развития почв и природной среды в пойме Москвы-реки в голоцене: почвенные, пыльцевые и антракологические маркеры. Почвоведение, 2018, № 6. С. 659-673.
3. Иванова Е.Н., Двинских П.А. Вторично-подзолистые почвы Урала. Почвоведение, 1944, № 7/8.
4. Чендев Ю.Г. Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. М.: ГЕОС, 2008. 212 с.
5. Kabała Cezary, A. Przybył, M. Krupski, B. Łabaz, J. Warosewski. Origin, age and transformation of Chernozems in northern Central Europe – New data from Neolithic earthen barrows in SW Poland. Catena, 2019. 180: 83–102.

УДК 631.4

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ – ВЗГЛЯД ИЗ ПРОШЛОГО В БУДУЩЕЕ³

А.О. Алексеев, Т.В. Алексеева, П.И. Калинин

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
(ФИЦ ПНЦБИ РАН), г. Пушкино, alekseev@pbcras.ru*

Последние десятилетия характеризуется пристальным вниманием как ученых, так и государственных структур к глобальным климатическим изменениям, происходящим на Земле, и связанным с ними прогнозам последствий для человечества и биосферы в целом. Природные глобальные процессы имеют циклический характер, и нет оснований утверждать, что роль человека в них в настоящее время носит исключительно негативный

³ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 18-04-00800; 19-29-05178.

характер и возможно реальное управление эволюцией биосферы, однако познание ее закономерностей позволило бы существенно смягчить, если не устранить вероятные негативные явления. Без анализа роли естественного тренда изменения климата и закономерностей эволюции почв в геологической истории развития биосферы невозможен прогноз долгосрочных последствий гео-экологических изменений. Удивительная и отличительная особенность биосферы – сохранение детальных палеопочвенных архивов (тысячи и миллионы лет) прошлых изменений климата, окружающей среды и жизни на Земле. Поэтому не случайно все более широкое распространение приобретают исследования палеопочв различных геологических и исторических эпох. Оказываясь *in situ* в погребенном («законсервированном») состоянии почвенный профиль сохраняет «палеоэкологическую память». Количественные и качественные характеристики этих параметров дают основания судить об особенностях природной среды в момент погребения палеопочвы и в предшествующее время.

Освоение суши растениями в девоне и появление корнеобитаемых почв являются одними из глобальных этапов в развитии биосферы, однако потенциал палеопочвоведения как свидетеля истории и эволюции дочетвертичной биосферы Земли на настоящий момент во многом остается нереализованным. Находки дочетвертичных палеопочв фрагментарны, отсутствуют карты почвенного покрова древних континентов. В институте активно проводится исследование закономерностей формирования и функционирования почвенного покрова палеозоя, особенностей пространственно-временной изменчивости свойств дочетвертичных палеопочв и дающих ключ к познанию природных процессов, определяющих направленность развития биосферы в палеозое.

Современные ландшафты степной зоны Европейской части России отражают длительную историю естественной эволюции, которая отличалась сложностью и динамичностью вследствие изменений природных условий и возрастающего воздействия антропогенного фактора. При этом особую важность приобретает прогнозная оценка изменений свойств черноземов и каштановых почв как основы продовольственной безопасности Российской Федерации. Особенно это актуально для степной зоны юго-востока Восточно-Европейской равнины, где чередующиеся на протяжении голоцена климатические изменения как показывают полученные результаты вызывали неоднократно преобразования почвенного покрова.

Для детализации функциональных зависимостей свойств почв с климатическими параметрами за последние три года проведены маршрутные экспедиции охватывающие почвы лесостепной, степной и полупустынной зон для изучения степных почв с целью получения новых качественных и количественных зависимостей свойств минеральных и органических компонентов современных почв степной зоны юго-востока Русской равнины с климатическими параметрами (осадки, температура, аридность). Статистический

анализ климатических зависимостей изменения магнитной восприимчивости в профиле современных почв степей юга Восточно-Европейской равнины в пределах климатических трансект продемонстрировал возможность определения количества атмосферных осадков, индекса аридности Де Мартона (IDM), коэффициента увлажнения (КУ) в прошлые эпохи (Алексеев и др, 2020). Полученный инструмент был применен к накопленным на сегодняшний день данным для более 100 погребенных почв археологических памятников региона для реконструкции гидротермического показателя индекса аридности (IDM) с целью количественной оценки сдвигов границ климатических зон на протяжении позднего голоцена на юге Восточно-Европейской равнины. Результаты демонстрируют существенные сдвиги, выявлена динамика с амплитудой до 200–300 км.

За последние 20–30 лет коллективом накоплена уникальная база образцов (более 300 палеопочвенных профилей голоцена и около 10 опорных разрезов плейстоцена) и аналитического материала для четвертичных почв региона. Создана первая версия базы данных «PALEOSOILS» и информационной среда с применением ГИС-технологий для комплексного анализа почвенных ресурсов степной зоны на базе ретроспективных данных, компьютерного моделирования и прогнозирования будущих изменений почвенного покрова. Реакция степных экосистем юга Европейской части России на разномасштабные изменения климата в прошлом (плейстоцен – голоцен) будет использована как основа для оценки тренда предстоящих перестроек в состоянии естественных и агро-ландшафтов степной зоны.

УДК 631.4

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ДЕВОНЕ И КАРБОНЕ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ РУССКОЙ ПЛИТЫ)

Т.В. Алексеева

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пушкино,
alekseeva@issp.serpukhov.su*

Как важнейшие компоненты гео-биосферы, палеопочвы, являются первостепенными свидетельствами континентальных обстановок на Земле начиная с раннего фанерозоя. Взрывное освоение суши растениями в девоне и появление корнеобитаемых почв являются одними из глобальных этапов в развитии биосферы. [1]. Значимость палеопочвенных объектов обусловлена и тем, что лишь ~ 10% геологического времени напрямую зафиксировано в осадочной летописи, в то время как основная ее часть скрыта из-за перерывов в осадконакоплении, субэкральных преобразований осадков, а также

эрозии. Континентальные этапы, сохраняющие наиболее достоверную информацию о палеоклимате и палеоэкологии поверхности нашей планеты, в разной степени «заархивированы» в палеопочвах. При всей обозначенной важности, потенциал палеопочвоведения как свидетеля истории и эволюции дочетвертичной биосферы Земли на настоящий момент во многом остается нереализованным. Сведения о находках дочетвертичных палеопочв на территории Земли фрагментарны, отсутствуют карты почвенного покрова древних континентов.

В данной работе приводятся результаты комплексного изучения палеопочв среднего/позднего девона, обнаруженных в карьерах Воронежской, Белгородской, Курской и Орловской областей. Несмотря на обширную информацию по флоре, сведения о находках палеопочв в разрезах девона на данной территории до недавнего времени отсутствовали. В работе на примере находок на территории Павловского карьера (Воронежская область) показано, что длительный этап континентального развития изученной территории в девоне обусловил формирование здесь сложных (составных и наложенных) педокомплексов, состоящих из 4 и более палеопочв [2]. Педокомплексы демонстрируют катенарный парагенезис.

Палеопочвы карбона изучены в 12 карьерах на территории Московской, Тульской, Калужской и Рязанской областей (южное крыло Подмосковского осадочного бассейна). Отложения карбона на данной территории представлены преимущественно осадками мелкого эпиконтинентального морского бассейна. Эта геологическая запись имеет множественные перерывы, отражающие регрессивно-трансгрессивные циклы. Субаэральные поверхности в отложениях карбона описываются в литературе, начиная с первой половины XX в. Вместе с тем до недавнего времени они не рассматривались в качестве объектов (палео)почвоведения. В отложениях карбона палеопочвы в основном маркируют эвстатические несогласия. Они, как правило, формируют двучлены, нижняя часть которых представлена морскими известняками в разной степени преобразованными в субаэральных обстановках. Верхние – терригенные, преимущественно глинистые, озерные осадки, несут комплекс почвенных признаков. Показано, что почвенный покров карбона на обозначенной территории характеризовался стратиграфической и латеральной (за малым исключением) неоднородностью [3]. Латерально выдержанные палеопочвы рассматриваются в качестве важных стратиграфических единиц – геосолей.

Анализ составленных карт-схем находок палеопочв девона и карбона на территории Лавруссии и Пангеи показал, что в девоне и раннем карбоне большинство из них принадлежало к аazonальному и интразональному рядам. Преобладали палеопочвы гумидного ряда. В среднем и позднем карбоне развитие получают зональные палеопочвы, в т.ч. палыгорскитовые кальцисоли семи-аридного – аридного рядов. Во второй половине палеозоя почвенный покров Лавруссии и Пангеи развивался в сторону увеличения разнообразия почв за счет роста числа типов зональных почв, что отражает

изменения в природной, в т.ч. климатической зональности Земли, рост ее контрастности. Количественные реконструкции климата, базирующиеся на химическом составе палеопочв, показали, что в среднем и позднем девоне на обозначенной территории преобладал теплый и влажный климат (900–1200 мм осадков/год). В раннем карбоне величина атмосферных осадков колебалась в широких пределах (340–1250 мм/год). В среднем и позднем карбоне она снизилась до 240–700 мм/год. Формирование вертисолов, горизонтов почвенных карбонатов, аутигенного лепидокрокита свидетельствует о сезонности климата в карбоне.

Литература

1. Заварзин Г.А., Рожнов С.В. Выветривание и палеопочвы. Палеопочвы и индикаторы континентального выветривания в истории биосферы // Сб. Гео-биологические системы. М.: ПИН РАН, 2010. С. 4-9.
2. Alekseeva T., Kabanov P., Alekseev A., Kalinin P., Alekseeva V. Characteristics of early Earth's critical zone based on Middle-Late Devonian palaeosols properties (Voronezh High, Russia) // Clays and Clay Minerals. 2016a. V. 64 (5). P. 677-694.
3. Alekseeva T.V., Alekseev A.O., Gubin S.V., Kabanov P.B., Alekseeva V.A. Palaeoenvironments of the Middle-Late Mississippian Moscow Basin (Russia) from multiproxy study of palaeosols and palaeokarsts // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2016b. V. 450. P. 1–16.

УДК: 579.222; 579.6; 579.64:631.46

НЕФТЬ КАК ЗАГРЯЗНИТЕЛЬ ПОЧВЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ⁴

Л.И. Ахметов*, Т.Ю. Коршунова, А.Е. Филонов*, ***,
И.Ф. Пунтус*, ***, О.Н. Логинов****

**ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН»,
ИБФМ РАН, Пуцзино, lenarakhmetov@yandex.ru*

***Уфимский федеральный исследовательский центр РАН»,
Уфимский институт биологии, Уфа, korshunovaty@mail.ru*

****Тульский государственный университет, Тула, puntus66@mail.ru*

Нефть является комплексным загрязнителем, эффект от которого определяется количеством, составом и свойствами ее как органических, так и неорганических составляющих (тяжелые металлы и их соли, соединения ртути, серы, урана и пр.).

⁴ Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ в рамках научных проектов №20-54-00002/20 «Особенности синтеза поверхностно-активных соединений бактериями, эффективно утилизирующими нефть при пониженных и повышенных температурах» и №18-29-05025/19 «Изучение ассоциаций высших растений и микроорганизмов – деструкторов углеводов, обладающих гормональной активностью, для очистки окружающей среды».

При попадании в почву легкие фракции, как правило, испаряются (до 15% в год); тяжелые фракции (например, асфальтены) довольно медленно просачиваются вглубь почвы. После попадания нефтепродуктов в почву наблюдают более темное окрашивание верхних горизонтов, мозаичность изменений морфологического строения [1]. Под действием загрязнения происходит трансформация гранулометрического состава – важнейшей генетической и агрономической характеристики почвы, влияющей на ее плодородие. Почвенные частицы покрываются нефтяной пленкой и происходит их агрегирование [2,3]. Поровое пространство заполняется нефтепродуктами, которые вытесняют воздух и нарушают аэрацию. Создаются анаэробные условия, повышающие восстановленность почвы и снижающие ее окислительный потенциал, что может приводить к развитию процессов оглеения и даже поверхностному заболачиванию почв [4]. На формирование восстановительных условий также влияет увеличение содержания органического вещества (связанное с поступлением в почву компонентов нефти), при разложении которого расходуется O_2 . Некоторые горизонты могут полностью деградировать. В верхних слоях образуется битуминозная корка, препятствующая росту растений и просачиванию воды вглубь. В результате загрязнения нефтью и нефтепродуктами изменяется содержание Сорг., изменяется групповой и фракционный состав гумуса, количество и соотношение макро- и микроэлементов. Из-за сдвига C:N в сторону углерода нарушается азотный режим, благоприятный для развития м/о и растений [5], меняется соотношение форм N, снижается содержание подвижных форм K и P [6]. Хлоридно-натриевое засоление почв, сопровождающее нефтяное загрязнение, приводит к сложной перестройке почвенно-поглощающего комплекса (ППК): Na^+ начинает вытеснять Ca^{2+} и Mg^{2+} , преобладающие в чистой почве, что часто запускает осолонцевание почв [7]. В целом поглотительная способность почв снижается, что определяется не только уменьшением количества поглощенных катионов, но и утратой их способности обмениваться из-за обволакивания почвенных коллоидов нефтяной пленкой. Изменения в ППК вызывают сдвиг pH, что вызывает подщелачивание исходно кислых и слабокислых почв [8] или подкисление нейтральных почв. Последнее, вероятно, объясняется повышением концентрации низкомолекулярных органических кислот, продуцируемых грибной микрофлорой, активно развивающейся в нефтезагрязненных почвах.

В нефтезагрязненной почве изменяется структура микробного сообщества, снижается фотосинтетическая активность высших растений. В результате разливов нефти почвы могут превратиться в техногенные пустыни, в которых биота почти полностью подавлена. Отмечают и парадоксальные эффекты – при 5% загрязнении нефтью увеличение всхожести семян суданской травы (но замедление роста корней) по сравнению с растениями, которые проросли на чистой почве [9]. У злаковых и бобовых обнаружено подавление прорастания и роста, снижение эвапотранспирации и изменение

параметров фотосинтеза, что может быть связано с нарушением водного обмена [10].

Представители pp. *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Microbacterium* наиболее распространены в загрязненных нефтью местах. Кроме того, м/о pp. *Moraxella*, *Beijerinckia*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Corynebacterium*, *Acinetobacter*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Cyanobacterium* и др. способны разлагать нефтяные углеводороды. Гидрофобность и многослойная структура клеточной стенки актинобактерий позволяют этим бактериям минерализовать значительное количество углеводородов. Быстрая адаптация к новому субстрату и высокая скорость роста способствуют выживанию псевдомонад в естественной среде. Углеводороды нефти не содержат функциональных групп, которые возбуждают моторные рецепторы клеток подвижных бактерий. Метаболизм родококков способствует появлению окисленных соединений и привлечению ими псевдомонад. Показано [11], что в поверхностном горизонте загрязненной углеводородами нефти почвы в Центральной Сибири численность психрофильных м/о ниже, чем у мезофильных соответствующих эколого-трофических групп. В почвах на глубинах 1–5 м число психрофильных м/о сравнимо с количеством мезофильных, на глубинах 15 м число психрофильных м/о на порядок выше.

Литература

1. Середина, В.П. Колесникова Е.В., Кондыков В.А. [и др.] Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2017. №5. С. 108-112.
2. Федотова, А.С. Мелкозеров В.М. Технологические аспекты очистки и рекультивации почв агробиоценозов при нефтеразливах // Вестник КрасГАУ. 2017. № 1. С. 85-91.
3. Abbasi Maedeh P., Nasrabadi T., Wu W., Al Dianty M. Evaluation of oil pollution dispersion in an unsaturated sandy soil environment // Pollution. V.3 №4. PP.701-711.
4. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татлок Р.К. [и др.] Биодиагностика устойчивости бурых лесных почв Западного Кавказа к загрязнению тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами / Сибирский экологический журнал. 2014. №3. С.493-500.
5. Цомбуева Б.В. Влияние деятельности нефтедобывающего комплекса на загрязнение земель юго-востока Республики Калмыкия: автореф. дис. ... к. х.н. Иваново, 2017. 16 с.
6. Арзамазова А.А., Кинжаев Р.Р., Гальцова А.Д., Хрептугова А.Н. Влияние нефтезагрязнения на агрохимические свойства чернозема типичного и продуктивность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. №4. С.1-25.
7. Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Гарипов Т.Т. Деградация и мелиорация почв при загрязнении нефтепромысловыми сточными водами // Почвоведение. 2013. №2. С.226-233.
8. Воеводина Т.С., Русанов А.М., Васильченко А.В. Влияние нефти на химические свойства чернозема обыкновенного Южного Предуралья // Вестник ОГУ. 2015. Т.10. №185. С.157-161.

9. Кузина Е.В., Бакаева М. Д., Рафикова Г.Ф. [и др.]. Влияние бактеризации семян суданской травы штаммами рода *Pseudomonas* на их всхожесть и дальнейший рост на фоне загрязнения почвы углеводородами нефти // Экобиотех. 2019. Т.2. №2. С. 184-188.
10. Высоцкая Л.Б. Архипова Т.Н., Кузина Е.В. [и др.]. Сравнение реакции растений различных видов на нефтяное загрязнение // Биомика. 2019. Т. 11(1). С. 86-100.
11. Трусей И.В. Стимуляция *in situ* автохтонных психрофильных и мезофильных микроорганизмов для биоремедиации грунтов, загрязненных нефтепродуктами: автореф. дис. ...к.б.н., Иркутск, 2018. 22 с.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ЯЧМЕНЮ ЯРОВОМУ (*HORDEUM VULGARE*)⁵

**А.И. Барбашев, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Т.С. Дудникова,
Е.М. Антоненко**

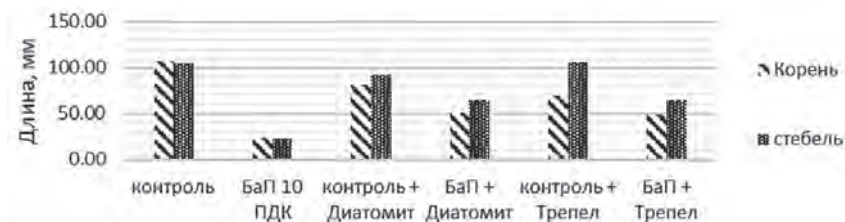
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, barbashev_andrei@mail.ru

Бенз(а)пирен (БаП) является стойким органическим загрязнителем, который довольно распространен и может надолго сохраняться в окружающей среде. Благодаря многолетним исследованиям был установлен целый класс представителей полициклических ароматических углеводородов, в том числе и БаП. Влияние ПАУ на растения и их структуры может быть разнообразно, так как ПАУ накапливаются и концентрируются в органах и тканях растений оказывая негативное влияние на различные структуры клеток. Способность ПАУ к аккумуляции в растениях и миграции в почве зависит физико-химических и сорбционных свойств почвенного матрикса, главным образом, от таких свойств, как водорастворимость и способность к переходу в почвенный раствор. Изучение особенностей ПАУ в том числе и БаП помогает подобрать оптимальные решения для ингибирования негативного воздействия на растения и почву. Одним из таких решений может являться использование минеральных сорбентов, в силу своих свойств и структуры они могут сорбировать на себе ПАУ, делая их недоступным для попадания их в растения.

Целью исследования было определить влияние минеральных сорбентов на фитотоксичность ПАУ по отношению к *Hordeum vulgare*.

Исследования проводили в условиях модельного вегетационного опыта. В эксперименте использовали почву и растительные образцы, отобранные

⁵ Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 19-74-10046.



Изменение показателей длины корня и высоты стебля растений ячменя при внесении BaП и добавлении диатомита и трепела.

из верхнего слоя 0–20 см на целинном участке почвенного природного заповедника «Персиановский». Исследуемая почва – чернозем обыкновенный. Предварительно просушенную воздушно-сухую почву просеивали через сито диаметром 1 мм и помещали по 50 г в чашку Петри. На поверхность почвы вносили раствор BaП в ацетонитриле из расчета создания концентрации загрязнителя в почве 200 нг/г или 10 ПДК, а также вносили 2,5% (от объема почвы) трепела и диатомита в каждую чашку. Сосуды засевали тест-культурой ячмень яровой (*Hordeum vulgare*) сорта «Одесский-100».

Растения культивировали при температуре воздуха +25 °С и постоянной влажности в течение 7 суток, ежедневно поливая до НПВ. По завершению опыта, растения отбирали, выкладывали на фильтровальную бумагу и измеряли показатели.

Получены данные по средней длине корня и стебля растений ячменя ярового, выращенного в условиях модельного вегетационного опыта с искусственным загрязнением почвы BaП и добавлением диатомита и трепела, представлены на рисунке.

Установлено, что средняя длина корня и высоты стебля растений ячменя, выращенного на незагрязненной контрольной почве, составила, в среднем, 107 и 105 мм, соответственно. При добавлении в контрольный образец диатомита, данные показатели составили 81 и 93 мм, соответственно. В почве, загрязненной BaП, установлено негативное влияние загрязняющего вещества на длину корня и высоту стебля растений, что привело к значительному снижению показателей средней длины корня и высоты стебля растений ячменя до 24 и 23 мм, соответственно. При внесении диатомита, установлено увеличение средней длины корня и высоты растений ячменя до 51 и 65 мм, что в два-три раза превышало значения в загрязненной почве без добавления сорбента.

Аналогично образцам с добавлением диатомита, в образце с чистой почвой и добавлением трепела происходило незначительное снижение показателя средней длины корня и высоты стебля растений. Средняя длина корня растений в образце с чистой почвой и добавлением трепела составила 69,8 мм, а высота стебля 106,2 мм. В загрязненном образце средняя длина

корня растений была в два раза ниже, а высота стебля – в три раза ниже по сравнению с загрязненным образцом, в который был добавлен трепел. Данные показатели составили – 24 и 49 мм, 23 и 64 мм, соответственно.

Таким образом установлено, что внесение диатомита и трепела в загрязненную почву уменьшает фитотоксичность ПАУ. По показателям длины корня и высоты стеблей растений ячменя ярового, выращенного на загрязненных почвах, показано, что внесение диатомита и трепела позволило снизить фитотоксичность ПАУ по сравнению с незагрязненными образцами. Вследствие этого, можно предположить, что внесение диатомита и трепела является перспективным методом восстановления почв при загрязнении ПАУ.

УДК 631.41

ПОГЛОЩЕНИЕ ЦИНКА ГИДРОМОРФНЫМИ ПОЧВАМИ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ И СОВМЕСТНОМ ВНЕСЕНИИ ЕГО С МЕДЬЮ⁶

Т.В. Бауэр*, Т.М. Минкина, Д.Л. Пинский*****

**ФИЦ Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, bauertatyana@mail.ru*

***Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, tminkina@mail.ru*

****Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пуцино, pinsky43@mail.ru*

Важным моментом при рассмотрении адсорбционных процессов в естественных почвах является вовлеченность в сорбционный процесс всех катионов тяжелых металлов (ТМ), присутствующих в системе и способных к обмену. Перераспределение катионов ТМ при полиэлементном загрязнении почв, как правило, трудно поддается количественному описанию с позиций теории ионного обмена. Взаимная конкуренция катионов за обменные места, усугубленная специфическими свойствами металлов и неоднородностью адсорбента, делает эту проблему чрезвычайно сложной для изучения. Особый интерес представляет изучение механизмов поглощения ТМ пойменными почвами. Сложность процесса почвообразования, его высокий динамизм, специфика водного питания, существенное влияние интразональных факторов являются основными причинами слабой изученности поглотительной способности пойменных почв по отношению к ТМ.

Целью настоящей работы является изучение поглощения цинка лугово-черноземной почвой при раздельном и совместном внесении его с медью.

В качестве объекта исследования выбран верхний гумусовый горизонт (0–20 см) луговой тяжелосуглинистой почвы (Calcaric Fluvisols Loamic),

⁶ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-60041 «Перспектива».

характеризующейся следующими физическими и химическими свойствами: С орг – 4.3%, pH – 7.5; ЕКО – 40.3 сМ(+)/кг; обменные катионы ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) – 38.1 сМ(+)/кг; CaCO_3 – 0.6%; содержание физической глины – 55.8%, ила – 32.0%. Общее содержание Zn в исследуемой почве составляет 110 мг/кг и Cu – 37 мг/кг. В исследованиях использовали фракцию почвы меньше 1 мм в естественной катионной форме. Почву заливали растворами азотнокислых растворов солей Zn и Cu в соотношении почва: раствор 1:10. Zn вносили раздельно и совместно с Cu с добавлением нитрата кальция для поддержания постоянной ионной силы 0.01 М/л. Концентрации исходных растворов металлов изменялись в пределах от 0.05 мМ/л до 1 мМ/л. Суспензии взбалтывали в течение часа и оставляли на сутки в состоянии покоя, после чего фильтровали. Содержание металлов в фильтратах определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Количество поглощенных катионов ТМ рассчитывали по разности между концентрациями металла в исходном и равновесном растворе.

Результаты показали, что адсорбция Zn^{2+} лугово-черноземной почвой при раздельном и совместном внесении ее с Cu^{2+} в форме азотнокислых солей имеет ограниченный характер и подчиняется уравнению Ленгмюра:

$$C_{\text{ад}} = C_{\infty} K_{\text{л}} C_{\text{р}} / (1 + K_{\text{л}} C_{\text{р}}),$$

где $C_{\text{ад}}$ – количество поглощенных катионов, $\text{мМ} \cdot \text{кг}^{-1}$; C_{∞} – величина максимальной адсорбции металла, $\text{мМ} \cdot \text{кг}^{-1}$; $C_{\text{р}}$ – концентрация металла в равновесном растворе, $\text{мМ} \cdot \text{л}^{-1}$; $K_{\text{л}}$ – константа Ленгмюра, $\text{л} \cdot \text{мМ}^{-1}$.

Значение максимальной адсорбции при моноэлементном загрязнении почвы Zn^{2+} выше ($C_{\infty} = 13.5 \pm 0.5$), а величина константы $K_{\text{л}}$ ниже (4.0 ± 0.3), чем при полиэлементном ($C_{\infty} = 5.6 \pm 0.3$; $K_{\text{л}} = 11.6 \pm 1.9$), что связано с взаимной конкуренцией катионов за обменные места. Адсорбционные места в исследуемых почвах энергетически неоднородны. Конкуренция катионов ТМ приводит к перераспределению их между сорбционными центрами, обладающими наибольшим относительным сродством к каждому из них. Соответственно, индивидуальная величина максимальной адсорбции уменьшилась, а константа, характеризующая энергию взаимодействия с сорбционными центрами на поверхности почвенных частиц, возросла.

Таким образом, показано, что одновременное присутствие в системе почва-раствор сразу двух катионов Zn^{2+} и Cu^{2+} приводит вследствие взаимной конкуренции между ними к изменению термодинамических параметров адсорбции.

ИНЖЕНЕРНАЯ БИОГЕОХИМИЯ: ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПОЧВЕННО- БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИДЕЙ В.А. КОВДЫ ДО ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Н. Башкин

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуццоно, bashkin@issp.pbcra.ru*

Приоритетные направления развития биогеохимии основаны на представлениях о всеобщности биогеохимических циклов и об их всеохватывающей роли в обмене масс химических элементов между живыми организмами и биосферой, включая ее важнейший компонент – почву. Эта фундаментальная идея В.А. Ковды, высказанная в конце 1960-х – начале 1970-х, во многом определила развитие биогеохимических исследований как в Институте агрохимии и почвоведения АН СССР, так и в его приемниках.

Для количественной параметризации разномасштабных локальных, региональных и глобальных изменений вследствие природных и антропогенных воздействий необходимо количественное понимание и моделирование биогеохимических циклов и это представляется одним из фундаментальных направлений современной науки. При этом изучение фундаментальных механизмов количественной параметризации экосистемных биогеохимических циклов позволяет вычлнить ряд новых направлений развития биогеохимических исследований, на стыке именно фундаментальных и прикладных исследований. Формируется новая область исследований – инженерная биогеохимия, в рамках которой происходит развитие инновационных биогеохимических технологий. Биогеохимические технологии – технологии и технологические процессы, основанные на моделировании, понимании и управлении биогеохимическими циклами. Области их применения – рекультивация нарушенных и загрязненных почв и экосистем в целом, добыча полезных ископаемых, производство биотоплива, биогеохимические стандарты, риск-менеджмент.

Проведение совместных научно-исследовательских работ с «Газпром ВНИИГАЗ» и «Газпром добыча Ямбург» выразилось в создании целого ряда биогеохимических технологий, защищенных патентами Российской Федерации на изобретения, применительно к рекультивации и диагностике как загрязненных, так и нарушенных почв. Примечательно, что эти биогеохимические технологии являются адаптивными к климату Крайнего Севера, ныне характеризующемуся усилением его континентальности. Именно в таких условиях на территории Тазовского полуострова была апробирована *in vitro* и *in situ*, и в настоящее время успешно реализуется биогеохимиче-

ская технология рекультивации тундровых почв, нарушенных вследствие добычи и транспортировки природного газа. Также проведена апробация целого ряда биогеохимических технологий *in vitro* и *in situ* на острове Белый (Карское море) при рекультивации нарушенных и погребенных каменным углем тундровых почв.

Следует также отметить, что ведущим фактором нарушения тундровых почв на полуострове Ямал, приводящего к потере пастбищных площадей из-за образования песчаных обнажений является их перегрузка оленьими стадами. Техногенные нарушения почв, связанные с освоением месторождений углеводородов имеют локальный характер. Разработанные инновационные биогеохимические технологии могут быть использованы как для рекультивации почв и экосистем в импактных зонах, так и для восстановления обширных деградированных земель.

Кроме того выполнена рекультивация пирогенных и загрязненных углеводородами почв, и нейтрализации углеводородных шламов в других почвенно-климатических условиях страны (Московская область и Ставропольский край).

Разработан и пакет биогеохимических инновационных технологий для оценки экологических и геоэкологических рисков в импактных экосистемах различных регионов.

Следует особо подчеркнуть, что все указанные технологии являются природоподобными биогеохимическими технологиями, поскольку позволяют восстанавливать природные биогеохимические циклы, нарушаемые в процессах добычи полезных ископаемых, в частности, природного газа и газового конденсата. Это восстановление природных биогеохимических процессов происходит на основе количественной параметризации слагаемых биогеохимических циклов в условиях арктических экосистем, т.е. цифровизации данной техноэкосистемы. Следовательно, сочетание фундаментальных академических научных разработок с технологическими подходами в газовой промышленности, защищенных пакетом патентов, позволяет утверждать о реально решаемых проблемах «зеленой экономики» и экопроблем в газовой индустрии с применением современных средств, методов и передовых технологий, включая цифровые.

Таким образом, моделирование фундаментальных механизмов количественной параметризации биогеохимических циклов позволяет создавать инновационные технологии для рекультивации нарушенных и загрязненных почв в различных экосистемах. Это еще раз подтверждает практическую реализацию высказанных В.А. Ковдой фундаментальных почвенно-биогеохимических идей.

КЛЮЧЕВЫЕ ЭТАПЫ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОЧВЫ ЦЕНТРА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ⁷

М.В. Бобровский*, Д.А. Куприянов**

**Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, maxim.bobrovsky@gmail.com*

***Институт археологии РАН, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, dmitriyкуприянов1994@yandex.ru*

Территория центра Европейской части России имеет давнюю историю хозяйственного освоения. При этом наиболее интенсивные и масштабные воздействия на почвы и почвенный покров были связаны с системами земледелия. Использование пахотных орудий (борона, рало, соха, плуг) приводит к изменению строения верхнего слоя почвы, а также к интенсификации процессов эрозии. Поэтому анализ строения дневных почв и овражно-балочных отложений позволяет определить наличие таких воздействий. В условиях лесной зоны земледелие было тесно связано с вырубкой и сжиганием деревьев: выжигание было неотъемлемым элементом подсечно-огневой и переложной систем земледелия, а также сопровождало расчистку лесных территорий под постоянные пашни. Древесные угли, перемещенные в минеральные горизонты почв и в отложения, позволяют датировать время воздействий.

Объекты исследования – дневные почвы и делювиально-пролювиальные отложения оврагов и балок на модельных участках, расположенные в ландшафтах различных типов и в разных биогеографических регионах. В 2015–2019 гг. проведены комплексные почвенно-морфологические и антракологические исследования на территории заповедника «Калужские засеки» (Калужская обл.), Мордовского заповедника (респ. Мордовия), Клепиковского р-на Рязанской обл., Пеновского р-на Тверской обл. Описано несколько сотен почвенных разрезов, отобраны сотни образцов почвы для определения концентрации углей, дальнейшего определения таксономического состава углей и их датирования. При отборе углей совмещали методы педоантракологии и морфологического анализа профиля. Отбор углей из образцов песчаных почв проводили методом сухого просеивания, из суглинистых почв – методом влажного просеивания; использовали сито с ячейками 2 мм. Определение таксонов проводили с использованием светового микроскопа с отраженным светом (40–400×), атласов анатомии древесины. Для идентификации каждого угля использовали поперечный, радиальный и тангенциальный срезы. Определен возраст 90 образцов углей (ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института

⁷ Исследования выполнены при поддержке РФФИ (для территории Тверской области – проект 18-00-00819, для остальных территорий – проект 18-04-01329).

географии РАН и центра изотопных исследований Университета Джорджии, США; Институт геохимии и геофизики НАН Беларуси).

Для каждой из территорий описаны особенности стратиграфии углей в почвенных профилях; для модельных разрезов определены концентрации углей. Для большинства профилей наибольшая масса углей сосредоточена в старопашотных горизонтах. Педотурбации являются главным фактором перемещения углей в минеральные горизонты дневных почв масштабное перемещение углей в минеральные горизонты было связано с воздействием на почву бороздящих орудий, следовавшими за выжиганием участка. Вывалы представляют сравнительно редкое и ограниченное по площади воздействие, перемещающее угли вглубь профиля.

По кривым вероятностей образцы углей на большинстве исследованных территорий группируются в несколько кластеров. Результаты исследований показывают неравномерность сельскохозяйственного освоения и преобразования почв на исследованных территориях центра Европейской России в пространстве и времени. Для большинства участков отмечено три основных «волны» выжиганий и расчисток, первая из которых пришлась на культуру раннего железного века, вторая (наиболее масштабная) – на период славянской колонизации, а третья – на XVIII век и начало XIX века.

УДК: 546.3:614.76(470+571)

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ В УРБОПОЧВАХ ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ СИМФЕРОПОЛЬСКОЙ ТЭС⁸

А.М. Богданова, Е.В. Евстафьева

*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь,
annuta2607@yandex.ru*

Оценка экологической ситуации и гигиенического риска здоровью населения от факторов загрязнения окружающей среды включает изучение элементного состава и содержания загрязнителей в таком компоненте биосферы как почва. В списке приоритетных для геоэкологического мониторинга поллютантов до сих пор остаются тяжелые металлы (ТМ), а также такой органический супертоксикант как бенз(а)пирен (БАП), обладающие высокими канцерогенными, мутагенными, тератогенными свойствами. Известно, что на территории Крымского полуострова возрастает техногенная нагрузка на городские и сельские экосистемы. Ранее нами были установлены превышения допустимых концентраций и кларков для Cr, Co, Pb и других ТМ в селитебных зонах населенных пунктов некоторых регионов Респу-

⁸ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-24212\18.

блики Крым [2]. В связи с необходимостью более точных оценок уровня загрязнения почв селитебных районов, цель настоящей работы состояла в определении валового содержания и уровня подвижных форм ТМ и БАП в пробах почв селитебных территорий в зоне влияния Симферопольской теплоэлектростанции (ТЭС).

Мониторинговые площадки были расположены в зоне влияния Симферопольской ТЭС как возможного источника техногенного загрязнения территории пгт. Грэсовский (гор. округ Симферополь) соответственно преобладающим направлениям розы ветров (1 – 800 м $34^{\circ} 43.30' \text{С}$ $2^{\circ} 38.42' \text{В}$; 2 – 1,5 км $34^{\circ} 31.27' \text{С}$ $34^{\circ} 1' 50.64' \text{В}$; 3 – 1,5 км $45^{\circ} 0' 27.93' \text{С}$ $34^{\circ} 1' 19.71' \text{В}$). Пробы почв отбирали цилиндрическим пробоотборником из нержавеющей стали с глубины 0-15 см методом «квадратного конверта». Отбор, хранение, транспортировка и подготовка проб осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84, МУ 2.1.7.730-99, ГОСТ 29269–91. Определяли валовое содержание ТМ 1-3 классов опасности: As, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, – на рентген-флуоресцентном спектрометре “Спектроскан Макс-GV”, бенз(а)пирена – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Результаты сопоставляли с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) и ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) химических веществ в почве; при отсутствии нормативов – с их кларками в почвах населенных пунктов по данным В.А. Алексеенко [1].

Анализ данных содержания элементов и бенз(а)пирена в поверхностном слое почв исследуемых площадок показал наличие превышений референтных значений для Zn, Cu, Pb, As и БАП (таблица).

№	Содержание элементов, мг/кг											
	Zn	Ni	Cu	Pb	Mn	Cd	Cr	Sr	V	Co	As	БАП
Площадка 1	в. 151,9 п. 104,0	в. 49,6 п. 7,5	в. 56,1 п. 15,3	в. 28,9 п. 35,8	п. 202,5	п. 3,5	в. 108,0 п. 2,5	в. 278,2	в. 128,6	в. 16,1	в. 14,6	в. 1,2
Площадка 2	в. 742,0 п. 259,8	в. 46,4 п. 9,8	в. 73,2 п. 73,5	в. 162,8 п. 69,9	п. 332,3	п. 5,9	в. 96,9 п. 3,7	в. 421,6	в. 100,8	в. 16,7	в. 36,1	в. 0,27
Площадка 3	в. 107,1 п. 59,8	в. 41,5 п. 4,5	в. 44,1 п. 2,0	в. 20,7 п. 28,9	п. 214,5	п. 0,7	в. 108,6 п. 2,5	в. 150,8	в. 129,5	в. 19,0	в. 12,1	в. 0,04

в. – валовое содержание, п. – подвижные формы.

Так, превышения валового содержания для As составили 6–12 ПДК, Zn – от 1,5 до 7,4 ПДК, подвижных форм Zn – от 2,6 до 11,3 ПДК на всех площадках. Отмечены значительные превышения для подвижных форм Cu (5–25 ПДК), менее выраженные для Ni – 1, 1–2,4 ПДК. Превышения валового содержания Pb достигало 5 ПДК, подвижных форм – 11 ПДК. Содержания БАП составило 17–60 ПДК на всех площадках.

Выводы. Выявлены превышения референтных значений как для валового содержания, так и подвижных форм Zn, Cu, Pb, а также Ni, As, БАП. Характер выявленного уровня загрязнения свидетельствует о значительном загрязнении поверхностного слоя почв селитебных районов и наличии дополнительных источников загрязнения кроме Симферопольской ТЭС, что подтверждает необходимость дальнейших исследований в этом направлении.

Литература

1. Алексеев В.А., Алексеев А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2013. 380 с.
2. Евстафьева Е.В., Богданова А.М., Минкина Т.М., Сушкова С.Н., Барановская Н.В., Манджиева С.С., Антоненко Е.М. Содержание тяжелых металлов в почвах селитебных территорий Республики Крым // Известия ТПУ. 2018. Т. 329. №10. С. 19-29.

УДК: 550.47

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ КРЕМНИЯ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Е.А. Бочарникова

*ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,
Пушино, mswk@rambler.ru*

Кремний – второй после кислорода по распространенности элемент в земной коре (23,8%). Почва содержит до 48% кремния. В почве кремний представлен преимущественно труднорастворимыми и инертными соединениями – силикатами различной степени кристаллизации. В то же время в почве всегда присутствуют водорастворимые формы кремния (мономеры, полимеры и олигомеры кремниевой кислоты, кремний-органические соединения), которые влияют на многие химические и биологические свойства почв, а также аккумулируются растениями и почвенными микроорганизмами. Круговорот кремния в системе почва-микроорганизмы-растения превосходит по интенсивности и переносу вещества круговороты таких макроэлементов, как азот, фосфор и калий. Интенсивность биологического круговорота кремния составляет от 20 до 7000 кг/га/год [1]. По общему содержанию элементов в растениях кремний занимает четвертое место после кислорода, углерода и

водорода. Проведенные полевые исследования позволили определить баланс кремния в ряде биоценозов бореального климатического пояса (лесных, луговых, сельскохозяйственных). Учитывали ежегодный прирост биомассы, общее содержание кремния в растениях и количество растительных остатков, ежегодно возвращающихся в почву. Также было исследовано содержание различных форм кремния в почве. Полученные данные показали, что основной поток кремния в изученных биоценозах осуществляется в форме монокремниевой кислоты. Коэффициент корреляции между содержанием монокремниевой кислоты в почве и балансом кремния составлял $R=0,98$. Другие проанализированные параметры – содержание кислоторастворимого кремния и полимеров кремниевой кислоты – не имели четкой зависимости от баланса кремния.

На основании наших и литературных данных была предложена схема цикла кремния в системе почва-растение (микроорганизмы) (рисунок). Этот круговорот является базовым в процессах миграции и трансформации кремния как биогеохимического элемента.



Схема биогеохимического кремниевого цикла в системе почва-растение-микроорганизмы. Условные обозначения физико-химических процессов: О – осаждение; П – полимеризация; Дп – деполимеризация; Дг – дегидратация; С – солеобразование; З – замещение неорганических анионов; Ос – образование кремний-органических соединений; Он – образование комплексов с неорганическими соединениями; Ок – образование комплексов с органическими соединениями; Рк – разрушение комплексов; М – минерализация кремний-органических соединений.

В последние годы интерес к кремнию заметно увеличился в связи с появлением новых данных, указывающих на важность элемента в формировании защитной системы живых организмов, включая растения, микроорганизмы и животных, что вызывает необходимость более глубокого изучения свойств и функций кремниевых соединений в почве и системе почва-растение.

Литература

1. Bocharnikova E. A., Matichenkov V. V. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem // Applied Ecology and Environmental Research. 2012. V. 10(4). P. 547-560.

УДК 631.4

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ В ГОЛОЦЕНЕ НА ОСНОВЕ ПАЛЕОПОЧВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ⁹

А.В. Бухонов

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуцино, Московская область*

Уникальными природными моделями для изучения эволюции почв, в связи с изменчивостью условий почвообразования являются разновозрастные погребенные почвы археологических памятников. Их исследование позволяет определить степень сохранности почвенных свойств и признаков при резкой смене условий функционирования почв. Объектами исследований послужили погребенные почвы двух курганных групп и участка оборонительного вала расположенных на территории Волгоградской области в пределах сухостепной зоны.

Реконструкция динамики увлажненности климата во второй половине голоцена на территории Нижнего Поволжья широко представлена в работах А.Л. Александровского [1], А.В. Борисова и др. [2], В.А. Демкина и др. [3].

Фактический материал охватывает эпоху поздней бронзы, ранний железный век, развитое средневековье, новое время и современность. В результате динамичности климата, каждая из палеопочв имеет индивидуальные морфологические и физико-химические признаки и свойства.

Морфолого-стратиграфический анализ показал, что в процессе естественной эволюции, за 3500 лет, в каштановых почвах направленно увеличивалась мощность почвенных горизонтов, и в первую очередь, гумусово-аккумулятивного.

⁹ Работа выполнена в рамках ГЗ № 0191-2019-0048.

Вместе с климатическими флуктуациями изменялась мощность иллювиальных В1 и В2_{ca} горизонтов, связанная с интенсивностью развития солонцовых процессов. При этом развитие почвенного профиля не происходило равномерно на протяжении описываемого времени и скорости формирования основных морфологических признаков значительно различались на отдельных этапах эволюции. Изменения условий палеосреды наиболее ярко отражают геохимические характеристики. Солевой и карбонатный профили «записывают» характеристику климата, в котором формировалась почва, что отражает направленность элементарных почвообразовательных процессов, происходящих в почве до момента погребения.

Таким образом, для хроноинтервала почвообразования от 3500 лет назад до настоящего времени на территории Нижнего Поволжья выявлено направленное развитие мощности гумусового горизонта. Динамичность изменений условий палеосреды наиболее ярко проявляется в геохимических характеристиках изучаемых почв. Солевой и карбонатный профили «записывают» характеристику климата, в котором почва функционировала до момента погребения.

Литература

1. Александровский А.Л. Эволюция почв Восточно-европейской равнины в голоцене. М.: Наука, 1983. 150 с.
2. Борисов А.В. Палеопочвы и климат Ергеней в эпоху бронзы (IV–II тыс. до н.э.) / А.В. Борисов, Т.С. Демкина, В.А. Демкин. // М.: Наука, 2006. 210 с.
3. Дёмкин В.А. Развитие почв Нижнего Поволжья за историческое время / Дёмкин В.А., Ельцов М.В., Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Демкина Т.С., Борисов А.В. // Почвоведение, 2004. №12.

УДК 551.525:551.582.2:631.436

ОБ ОЦЕНКЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ НОРМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ ПО СТАНДАРТНЫМ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

С.С. Быховец

*ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцзино,
s_bykhovets@rambler.ru*

Информация о температурном режиме почвы востребована как в экспериментальных почвенных исследованиях, так и в задачах моделирования почвенных процессов. Хотя температура почвы и измеряется на метеорологических станциях, сеть таких измерений более редка, чем сеть основных метеорологических наблюдений, и их результаты публикуются реже. Поэтому, актуальна задача оценки температуры почвы по более широко используемым

данным, прежде всего, температуре воздуха и высоте снежного покрова. Разработанная нами ранее модель SCLISS [1, 4] позволяет оценивать средние значения температуры почвы на глубине 0.20 м за отдельные месяцы и годы по температуре воздуха, однако в качестве входных параметров требуются статистические характеристики температуры почвы, в частности ее многолетние средние значения (климатические нормы). В случаях, когда такие данные для исследуемого региона отсутствуют – требуется косвенная оценка средних температур почвы, по примеру работ [2, 3]. В частности, В.Н. Димо [3] получена линейная зависимость температуры почвы самого теплого месяца на глубине 20 см от соответствующей температуры воздуха, а также зависимость разности температур почвы и воздуха самого холодного месяца от высоты снежного покрова. В.Р. Волобуев [2] получил зависимости температуры почвы от температуры воздуха для 4-х месяцев: января, апреля, июля и сентября, причем в трех случаях из четырех зависимость линейна, а для апреля – она кусочно-линейная, из двух частей с различным наклоном при положительных и отрицательных значениях температуры воздуха. Причем, в январе наклон также существенно меньше, чем в месяцы с положительными температурами (и отсутствием снежного покрова).

Поскольку в указанных работах такие зависимости были получены только для отдельных месяцев года, а в нашем случае требовалось оценить среднемесячные значения температуры почвы в годовом ходе, подобная работа нами проделана для всех 12 месяцев. Для этого из Справочника по климату СССР [5] были выбраны станции с данными по температуре почвы на глубине 0.20 м под «естественной поверхностью» (косимой травой летом и ненарушенным снежным покровом зимой). Таких станций оказалось 630, для всех имеются данные по температуре воздуха, а для 405 из них – также и по высоте снежного покрова.

Прежде всего, мы исследовали зависимость средних значений температуры почвы от температуры воздуха соответствующего месяца. Для периода с октября по апрель, когда средняя температура воздуха в различных регионах рассматриваемой территории может принимать значения разного знака, использовалась кусочно-линейная зависимость, для остальных месяцев – обычная линейная регрессия. Полученные уравнения позволяют оценить многолетние средние месячные значения температуры почвы с погрешностью 1–2 °С в теплое время года и до 2.5 °С в зимний период. Увеличение ошибки в этом случае, очевидно, вызвано неучтенным влиянием снежного покрова. Поэтому для зимних месяцев были также получены зависимости с учетом данного фактора. Первоначально рассматривался вариант зависимости разности температур почвы и воздуха от высоты снежного покрова. Но существенного улучшения точности оценок по сравнению с предыдущим вариантом в этом случае получить не удалось. Несколько лучший результат дает множественная линейная регрессия, с использованием в качестве предикторов температуры воздуха и высоты снежного покрова. В этом случае

погрешность оценки температуры почвы зимой снижается до величин, сопоставимых с точностью линейной зависимости от температуры воздуха в теплое время года.

Указанные зависимости, первоначально полученные для целей параметризации модели SCLISS в условиях недостатка данных, могут также быть полезны и для решения более широкого круга задач климатологии, почвоведения и экологии.

Литература

1. Быховец С.С., Комаров А.С. Простой статистический имитатор климата почвы с месячным шагом // Почвоведение. 2002. № 4. С. 443–452.
2. Волобуев В.Р. Соотношение между тепловым режимом почв и климатом приземного слоя воздуха // Почвоведение. 1983. № 2. С. 52–63.
3. Димо В.Н. Расчетный метод определения температуры почвы // Бюлл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 1967. Вып. 1. С. 88–99.
4. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / Отв. ред. В.Н. Кудеяров. М.: Наука, 2007. 380 с.
5. Справочник по климату СССР. Вып. 1–34. Части II и IV. Л.: Гидрометеиздат, 1964–1969.

УДК: 547.912; 631.41; 628.543.1

СОРБЦИОННАЯ БИОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМИ ПОЛЛЮТАНТАМИ РАЗНЫХ КЛАССОВ

Г.К. Васильева, Е.Р. Стрижакова

*ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Пушкино,
gkvasilyeva@rambler.ru*

Не смотря на экономические и экологические преимущества метода биоремедиации *in situ* его эффективность доказана лишь в 5% случаев. Основные трудности биоремедиации связаны с трудностями адаптации микроорганизмов в токсичных средах, а также с риском загрязнения поверхностных и грунтовых вод. Данный доклад посвящен обобщению результатов 30-летних исследований по разработке теоретических основ технологии сорбционной биоремедиации почв, загрязненных высокими концентрациями поллютантов разных классов. Технология сорбционно-биологической очистки почвы основана на внесении в почву натуральных сорбентов, которые могут существенно ускорять процессы биоремедиации за счет преимущественно обратимой сорбции деградируемых поллютантов и их токсичных метаболитов с одной стороны и прочного связывания высокоперсистентных поллютантов – с другой стороны. Кроме того, внесение сорбентов снижает

подвижность водорастворимых поллютантов, что обеспечивает локализацию поллютантов в обрабатываемом слое и таким образом позволяет проводить биоремедиацию *in situ*, т.е. непосредственно на загрязненном участке, не прибегая к экскавированию и транспортировке загрязненного грунта.

Для выбора оптимальных условий проведения сорбционной биоремедиации необходимо правильно подобрать оптимальную дозу соответствующего сорбента, для чего требуется знать механизмы их действия на свойства загрязненных почв и активность микроорганизмов-деструкторов: аборигенных или инокулированных в виде биопрепарата.

В ходе наших исследований были проведены многочисленные лабораторные, многолетние микрополевые и полевые эксперименты с различными типами почв в разных почвенно-климатических условиях, в которых изучалось влияние натуральных сорбентов 3-х классов (минеральные, органические и углеродистые) на скорость биоремедиации и свойства почв, загрязненных органическими поллютантами разных классов.

В ходе исследований был выделен ряд уникальных бактериальных штаммов, способных расти на средах с моно- и дихлоранилинами в качестве единственных источников углерода и энергии. Изучен метаболизм хлоранилинов этими микроорганизмами, разработан оригинальный динамический метод определения их численности. Это позволило наблюдать за динамикой приживаемости таких штаммов в течение 7 лет в слабозагрязненной почве, а также определить предельный уровень загрязнения почвы, при котором эти микроорганизмы сохраняют способность утилизировать ДХА в почве. Показано также, что в присутствии активированного угля (АУ) микроорганизмы-деструкторы ДХА способны размножаться в сильно загрязненных почвах в результате снижения их токсичности вследствие обратимой сорбции поллютанта. Доказана потенциальная микробная доступность сорбированных активированным углем хлоранилинов, которые подвергаются почти полной минерализации. Разработанный метод сорбционной биоремедиации почвы был успешно применен для ликвидации последствий аварийной утечки 17 тон гербицида пропанида в Краснодарском крае. Эффективность данного подхода была подтверждена также на почвах, загрязненных ди- и трихлорфенолами.

Доказана способность активированного угля ускорять и биоремедиацию почвы, загрязненной чрезвычайно устойчивым и токсичным поллютантом взрывчатым веществом 2,4,6-тринитротолуолом (ТНТ), однако механизм действия АУ сильно отличается от предыдущего. В присутствии АУ создаются благоприятные условия для активации аборигенных почвенных микроорганизмов, которые трансформируют ТНТ в лабильные гидроксиламино-производные, которые затем взаимодействуют с другими лабильными соединениями – продуктами каталитического окисления ТНТ на АУ, что приводит к их полимеризации и прочному связыванию в микропоровом пространстве сорбента.

Третий механизм действия АУ установлен при рекультивации почв г. Серпухова, исторически загрязненных полихлорированными бифенилами (ПХБ), которые ранее использовались там при производстве электрохимического оборудования. В присутствии АУ происходит ускорение биodeградации низхлорированных конгенов ПХБ (3- и 4-хлорированных), а плоские молекулы конгенов ПХБ, не содержащие атомов хлора в орто-положении, связываются в щелевидных нано-порах АУ за счет образования π - π -связей.

Показана эффективность сорбционно-биологической очистки для почв, сильно загрязненных нефтью и различными нефтепродуктами. Положительное действие различных сорбентов происходит не только за счет обратимой сорбции углеводородов и, особенно, их токсичных окисленных метаболитов, но и снижает гидрофобность почв, а также повышает их влагоемкость и пористость. Кроме того, внесение оптимальных доз АУ обеспечивает локализацию токсичных метаболитов в обрабатываемом слое. Технико-экономические расчеты доказали преимущества сорбционно-биологического метода *in situ*.

УДК 551.345

ЕДОМНО-АЛАСНЫЕ ЛАНДШАФТЫ В МЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ

А.А. Веремеева, Е.М. Ривкина

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуцзино; averemeeva@gmail.com*

Приморские низменности Якутии, рельеф которых сформировался в голоцене вследствие деградации позднеледникового высокорельефных отложений ледового комплекса (ЛК), привлекают в последние десятилетия особое внимание исследователей, что связано с наблюдаемым в высоких широтах процессом потепления климата. Реакция мерзлотных ландшафтов на климатические изменения проявляется в активизации термокарстовых и термоэрозийных процессов, что приводит к перестройке гидросети. Изменение площади термокарстовых озер, характерных для районов распространения ЛК, может рассматриваться как важный индикаторный признак реакции ландшафтов на климатические изменения как в прошлом, так и в настоящем времени. Для оценки динамики площади термокарстовых озер и некоторых других геоморфологических процессов в настоящем мы используем разновременные данные дистанционного зондирования Земли. Космические снимки так же необходимы для выявления распространения площади основных рельефообразующих четвертичных отложений, что дает представление о развитии термокарстовых процессов в прошлом и является базой для понимания современных процессов.

Основные типы рельефообразующих четвертичных отложений представлены поздненеоплейстоценовым ЛК едомного надгоризонта, голоценовыми аласными и аллювиальными отложениями, преобладающие по площади на исследуемой территории. Установлено, что поздненеоплейстоценовые останцы ЛК сохранились лишь на 16 % территории, а аласные отложения занимают 72%. Сопоставление площади четвертичных отложений, выделенных на основе дешифрирования космических снимков с данными геологической карты масштаба 1:1000000 показало, что площадь отложений ЛК на карте завышены в 2,5 раза.

На основе сопоставления космических снимков Landsat 1973, 1999 и 2015 гг. проведен анализ динамики озер для всей территории тундровой зоны Колымской низменности. Разрешение снимков (80 м для 1973 г., и 30 м для 1999 и 2015 гг.) позволило выявить значительное уменьшение площади более чем на 25% для 80 озер размером 1–50 км². Сопоставление карты дренированных озер с картой четвертичных отложений показало, что уменьшение или полный спуск озер происходит в уже существующих аласах. За период с 1999 по 2015 гг. количество частично или полностью спущенных озер было выше, чем за период с 1973 по 1999 гг., что, возможно, указывает на активизацию термокарстовых и термоэрозийных процессов в результате увеличения температуры воздуха и количества осадков.

На заболоченных участках едомы распространены локальные понижения, охарактеризованные в литературе как плоско-западинные образования, для которых характерны мелкие озера со средним диаметром 5–10 м, достигая 20–30 м. По сравнению с 1972 г. площадь и количество озер заболоченных участков едомы в 2009 г. увеличились в 2 раза, а в 2013 г. – в 4 раза. Увеличение площади мелких озер на поверхности едомы может свидетельствовать о деградации полигонально-жильных льдов, наблюдаемых повсеместно в Арктике. На территории тундровой зоны Колымской низменности заболоченные участки занимают около 10% от всей площади едом и также распространены в других регионах распространения отложений ЛК и могут рассматриваться как важный индикатор деградации полигонально-жильных льдов в результате потепления климата.

Для оценки запасов органического вещества на район основных полевых работ по изучению четвертичных отложений сотрудниками лаборатории криологии почв нами была составлена карта четвертичных отложений приморских низменностей Якутии. Большую часть территории занимают аласные котловины (46,8%), в то время как площадь сохранившихся останцов едомы составляет 13,2 %. Полученные данные позволили существенно уточнить площади распространения четвертичных отложений. Так, по данным карты масштаба 1:1000000 площадь едомы завышена в 1,5 раза и составляет 26,6%, а аласы – лишь 33,1%. Поэтому полученные нами данные необходимы для более точной оценки запасов органического вещества, которые используются для прогноза эмиссии парниковых запасов. По данным составленной нами

карты содержание общего углерода в отложениях ЛК составляет в среднем 1,5 %, в аласных отложениях – 1,36 %. Общие запасы углерода отложений ЛК составляют $14,0 \pm 23,5$ кг $C \cdot m^{-3}$, аласных отложений – $16,2 \pm 31,3$ кг $C \cdot m^{-3}$ [1]. Общие запасы в верхней 25 м толще мерзлых отложений на территорию 88000 км² составили $31,2 \pm 15,2$ Пг, а среднее содержание углерода – 14,3 кг $C \cdot m^{-3}$. Полученные нами результаты позволили уточнить существующие оценки по содержанию углерода в отложениях ЛК и аласном комплексе.

Литература

1. Shmelev D., Veremeeva A., Kraev G., Kholodov A., Spencer R.G.M., Walker W.S. and Rivkina E. Estimation and Sensitivity of Carbon Storage in Permafrost of North-Eastern Yakutia // Permafrost and Perigl. Proc. 2017. V. 28. 2. P. 379-390.

УДК: 631.4

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БИОСИСТЕМНЫХ МИКРОБНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ПОЧВАХ С РАЗЛИЧНОЙ АГРОТЕХНОЛОГИЕЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ¹⁰

**Н.И. Воробьев*, А.М. Семенов*, Я.В. Пухальский*,
О.В. Свиридова*, В.Н. Пищик*,****

**ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург,
Nik.IvanVorobyov@yandex.ru*

***Кафедра микробиологии биофака МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва
***Агрофизический институт, Санкт-Петербург*

В современном земледелии главный приоритет остается за технологиями, направленными на биологизацию и экологизацию сельскохозяйственного производства [0]. Успешность решения современных агротехнологических задач, в первую очередь, зависит от эффективного использования микроорганизмов, которые в широком генетическом разнообразии и огромном количестве присутствуют во всех почвах.

Известно, что миллионы микроскопических клеток способны выстраивать в почвах специфические деструктивные биосистемы, которые создают оптимальные условия для эффективного и экономичного преобразования растительных остатков в гумусовые вещества [0, 0]. Микробные биосистемы функционируют ограниченное время, пока не израсходуется разлагаемый субстрат. Из этого следует, что они должны регулярно перестраиваться для разложения вновь поступивших в почву органических субстратов, меняя состав и конфигурацию биосистем.

¹⁰ Работа выполнена в рамках государственного задания № 0664-2019-0025.

Современными молекулярно-генетическими методами [0] удается достаточно точно фиксировать частотные профили оперативно-таксономических единиц (ОТЕ), представляющих количественный и качественный состав почвенных микробных сообществ в зависимости от времени и пространственной локализации. Однако до сих пор не удается однозначно связать наблюдаемые изменения частотных профилей ОТЕ с моментами организации/деорганизации деструктивных микробных биосистем.

В задачу настоящего исследования входила разработка фрактальной модели идеального частотного профиля ОТЕ и анализ с помощью фрактальной модели периодических перестроек микробных деструктивных биосистем в почвах с органической и минеральной технологией возделывания.

Предлагаемая фрактальная модель идеального частотного профиля ОТЕ представляет собой последовательность чисел (1, 0.5, 0.25, 0.125, ...), убывающих по степенному закону. Подобные последовательности можно обнаружить при изучении процессов формообразования многих биологических объектов (например, при формировании кроны деревьев) [0].

Перед проведением фрактального анализа частотных профилей ОТЕ предлагается построение фрактальных портретов этих профилей. Фрактальный портрет [0] идеального профиля ОТЕ изображает профиль кружками, расположенными на прямой линии, а портрет реального профиля ОТЕ – кружками, расположенными хаотически и вне прямых линий. Поэтому, индекс биосистемной самоорганизации микроорганизмов (индекс БСМ) удастся рассчитать, исходя из величины среднеквадратичного отклонения реального профиля ОТЕ от линейного идеального профиля. В результате, равенство нулю индекса БСМ стало означать отсутствие биосистемной организации микроорганизмов, а равенство единице – образование полноценной и всеобъемлющей самоорганизации микробной биосистемы.

Предложенной процедуре фрактального анализа были подвергнуты данные молекулярно-генетического анализа образцов из почв с органической и минеральной технологией, отобранных посуточно в течение сентября 2009 года [0]. По этим данным удалось вычислить зависимость индекса БСМ от времени. В результате было установлено, что в почвах с органической технологией в биосистемах участвует больше микробных генотипов, чем в почвах с минеральной технологией. В то же время, частота перестроек микробных биосистем в почвах с органической технологией была меньше, чем в почвах с минеральной технологией. Возможно, это происходит из-за отсутствия (или недостаточности) в почвах с минеральной технологией традиционных для микроорганизмов органических растительных субстратов.

Таким образом, разработанная математическая методика позволяет использовать молекулярно-генетические данные почвенных образцов для тестирования агротехнологий и оценки их влияния на самоорганизацию микробных деструктивных биосистем, а также данная методика позволяет сравнивать восстановительные потенциалы различных почвенных микробоценозов.

Литература

1. Добровольский Г.В. и др. Почвы в биосфере и жизни человека: монография // М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ. 2012. 584 с.
2. Young I.M., Crawford J.W. Interactions and self-organization in the soil-microbe complex / Science, 2004, 304. 1634-1637.
3. Воробьев Н.И., Свиридова О.В., Попов А.А., Русакова И.В., Петров В.Б. Граф-анализ гено-метаболических сетей микроорганизмов, трансформирующих растительные остатки в гумусовые вещества // Сельскохозяйственная биология. 2011. №3. С. 88-93.
4. Брюханов А.Л., Рыбак К.В., Нетрусов А.И. Молекулярная биология // М.: Издательство Московского университета, 2012. 480 с.
5. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные ряды // 2001. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 528 с.
6. Воробьев Н.И., Свиридова О.В., Патыка Н.В., Думова В.А., Мазиров М.А., Круглов Ю.В. Фрактально-таксономический портрет микробного сообщества как биондикатор вида почвенных деструктивных процессов / Сб. конференции, «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред» // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2013. С. 38.
7. Семенов А.М., Бубнов И.А., Семенов В.М., Семенова Е.В., Зеленев В.В., Семенова Н.А. Ежедневная динамика численности бактерий и эмиссии CO₂ почвы и связь их волнообразных колебаний с сукцессией микробного сообщества // Почвоведение. 2013. № 8. С. 963–979.

УДК: 631.4:502.76

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДАМИ

Р.В. Галиулин*, В.Н. Башкин**

**Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пуцино,
rauf-galiulin@rambler.ru*

***Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуцино, vladimirbashkin@yandex.ru*

Смеси углеводородов разных классов в виде газового конденсата и нефти могут загрязнять почву в результате аварийных ситуаций. Во избежание геоэкологических последствий загрязнения почвы, приводящих к ее опустыниванию и миграции углеводородов в поверхностные и подземные воды, возникает необходимость в оперативном проведении рекультивации. Исследования показали, что достаточно эффективным средством проведения рекультивации почв является торф, обладающий уникальными сорбционной емкостью, а также деструктурирующей способностью за счет наличия в его составе углеводородокисляющих микроорганизмов [1].

Основная цель настоящей работы состояла в проведении рекультивации почв, загрязненных газовым конденсатом и нефтью посредством внесения

торфа в почву, а также посева и выращивания на ней многолетних злаковых трав.

В первом случае объектом апробации данного подхода явился участок на территории дожимной компрессорной станции (Ставропольский край), который выражался в постоянном ощущении специфического запаха бензиновых и керосиновых компонентов газового конденсата в атмосферном воздухе и полном отсутствии растительности на месте его выброса. В почву участка вносили торф с заделкой (0–6 см) в дозах 4 и 8 кг/м², а также производили посев семян смеси многолетних злаковых трав (30 г/м²). На момент апробации содержание углеводов в почве участка, анализируемого методом инфракрасной спектromетрии, было в пределах 2–5 г/кг. Исследования показали, что через 6 недель вес сырой биомассы трав был выше по сравнению с контролем в 9 и 17 раз в зависимости от внесенной дозы торфа, а содержание углеводов газового конденсата снизилось на 15–20%. Результаты апробации позволили прийти к заключению, что именно такой подход с применением торфа и посевом трав будет противодействовать эрозии почв, образованию оврагов и позволит сохранить устойчивость инженерно-технических сооружений на территории дожимной компрессорной станции.

Во втором случае оценивали загрязнение тундровой почвы (Ямало-Ненецкий автономный округ), произошедшего в результате аварийной ситуации. Первоначально определяли количество торфа для внесения в почву по результатам предварительного анализа гранулометрического состава незагрязненной почвы, которая оказалась тяжелым суглинком. После определения исходной концентрации нефти ($y_0 \sim 50$ г/кг почвы) методом инфракрасной спектromетрии и внесения расчетного количества торфа в почву (торф:почва, 1:7) осуществляли мониторинг остаточной концентрации нефти y в почве загрязненного участка, а также контрольной площадки (без внесения торфа), путем отбора образцов почвы и анализа содержания в них углеводов нефти через каждые 10 суток. На 40 сутки от начала наблюдения была установлена статистически доказанная тенденция снижения концентрации нефти в почве загрязненного участка после внесения торфа. Далее, используя исходную концентрацию нефти y_0 и остаточную концентрацию нефти y в почве на момент времени t , была вычислена константа скорости разложения нефти k в почве по формуле: $k = \ln(y_0/y) / t$, а также рассчитано время достижения $t_{\text{ОДК}}$ ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) нефти $y_{\text{ОДК}}$ по формуле: $t_{\text{ОДК}} = \ln(y_0/y_{\text{ОДК}}) / k = t \cdot [\ln(y_0/y_{\text{ОДК}}) / \ln(y_0/y)]$. Здесь y_0 – исходная концентрация нефти, y – остаточная концентрация нефти в почве на момент времени t , а ОДК нефти в тундровых почвах составляет 0,7 г/кг [2].

Прогнозирование показало, что внесение торфа в загрязненную почву позволяет снизить $t_{\text{ОДК}}$ нефти ~ 2 раза по сравнению с вариантом без торфа, т.е. под действием торфа разложение нефти ускоряется ~ 2 раза. После завершения процедуры математического прогнозирования, в почву кон-

трольной площадки также вносили торф и в том же соотношении, как и на загрязненный участок, что позволило считать поставленную техническую задачу полностью выполненной. Результаты апробации позволили прийти к заключению о том, что именно подход с применением торфа, как средства, обладающего уникальными сорбционной емкостью, а также деструктурирующей способностью будет способствовать защите подземных вод от загрязнения нефтью, мигрирующей по пустотам и порам почвенного профиля.

Литература

1. Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н., Стахина Л.Д., Панова И.И. Перспективы использования торфа для очистки нефтезагрязненных почв // Биотехнология. 2000. № 1. С. 58-64.
2. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1132-1140.

УДК 574

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА В БОЛОТНЫХ ПОЧВАХ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ¹¹

Л.Л. Голубятников*, Е.А. Заров**

**Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, golub@ifaran.ru*

***Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск,
zarov.evgen@yandex.ru*

Целью данного исследования является анализ содержания углерода и азота в современном деятельном слое и в верхних слоях мерзлой толщи болотных почв южной тундры Западной Сибири. Полевые исследования проводились в летние сезоны 2013–2017 годов на тундровой территории Пур-Тазовского междуречья (Ямало-Ненецкий автономный округ). Исследуемый регион находится в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Для данного исследования были выбраны наиболее распространенные в южной тундре региона болотные экосистемы: полигоны болот, травяно-сфагновые мочажины и осоковые топи [1]. Сезонно-талый слой на полигонах болот составляет 25–30 см. Болотные воды в оттаиваемом слое торфяных залежей исследуемых частей полигонов не наблюдаются. Растительность полигонов состоит из лишайников, сфагновых мхов, вересковых кустарничков и карликовой березки. Уровень болотных вод в осоково-пушицево-сфагновых и осоково-кустарничково-сфагновых мочажинах находится на глубине 10–25 см, сезонно-талый слой составляет 24–31 см. Сфагновые мхи формируют сплошной ковер на этих мочажинах,

¹¹ Работа выполнена в рамках госзадания АААА–А18–118032090072–9.

распространены осоки и пушицы, кустарнички представлены андромедой, багульником, карликовой березкой, ивой. Торфяная залежь осоковых топей оттаивает до 55 см. Уровень болотных вод находится у поверхности торфяной залежи топей, многие участки покрыты водой. Растительность представлена в основном видами осок и пушицы.

Талый слой рассматриваемых экосистем подразделялся на очёс (деятельный горизонт от поверхности до глубины 10–20 см) и торф (от нижней границы слоя очёса и до глубины начала мерзлой толщи). Образцы почв отбирались для каждого слоя исследуемых экосистем в трех повторностях. В лаборатории проводился анализ содержания углерода и азота в отобранных образцах на элементном анализаторе EuroVector EA-3000.

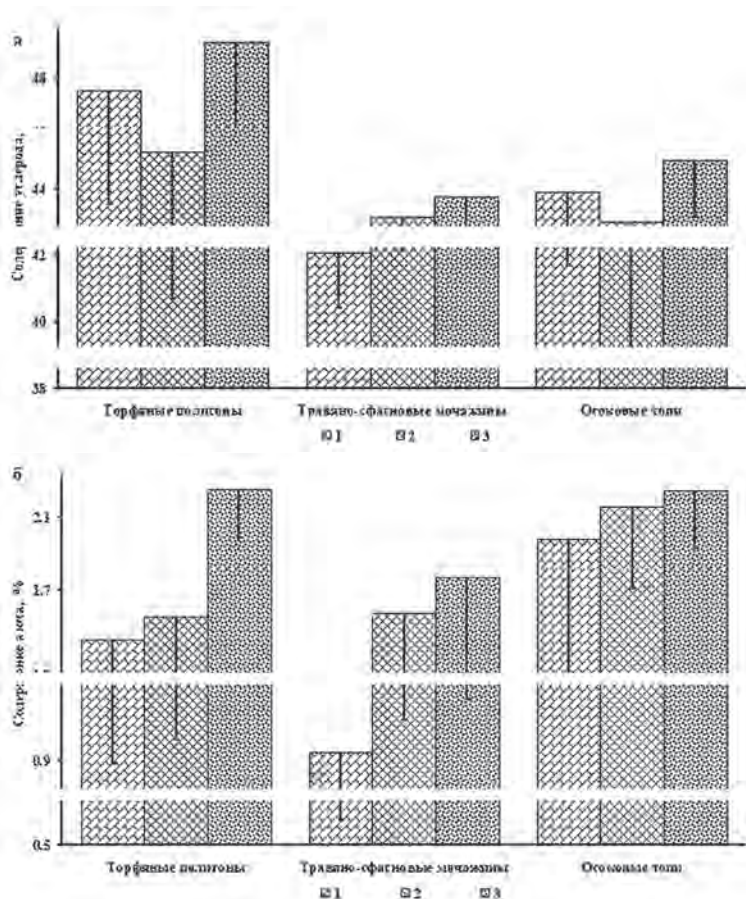


Рис. 1 Средние значения и стандартные отклонения содержания углерода (а) и азота (б) в почвенных слоях болотных экосистем южной тундры Западной Сибири. Обозначения: 1 – очёс, 2 – талый торф, 3 – мерзлый торф.

Полученные результаты (рис. 1) указывают на достаточно близкое содержание углерода в активном и верхнем мерзлом слоях почв болотных экосистем в тундровой зоне Западной Сибири: активный почвенный слой содержит 42–48% углерода, верхний мерзлый – 44–49%. Содержание углерода в оёссе и в слое талого торфа мочажин отличается незначительно. Следует отметить, что содержание углерода в слое талого торфа осоковых топей характеризуется значительной вариабельностью. Для рассматриваемых болотных экосистем характерно увеличение содержания азота от оёсса до верхнего мерзлого слоя. Наименьшее содержание азота наблюдается в оёссе травяно-сфагновых мочажин (0.9%), наибольшее – в верхнем мерзлом слое торфяных полигонов и осоковых топей (2.2%).

Литература

1. Golubyatnikov L.L., Zarov E.A., Kazantsev V.S., Filippov I.V., Gavrillov G.O. Analysis of Landscape Structure in the Tundra Zone for Western Siberia Based on Satellite Data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015. V. 51(9). P. 969–978.

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ И РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ – ВМЕСТЕ К ЭКСТРЕМАЛЬНОМУ ПОЧВОВЕДЕНИЮ¹²

С.В. Горячкин

Институт географии РАН, Москва, goryachkin@igras.ru

Предлагается новое научное направление – генезис и география почв экстремальных условий, требующее своей теории, понятийного аппарата и методологической основы. Оно основано на положении, что почвы и солоиды (почвоподобные тела) могут развиваться в экстремальных условиях при недостатке ресурсов. В этом случае мощность солоидов составляет первые миллиметры. Выделяются различные классы экстремальности почв и солоидов: факторная, режимно-функциональная и хорологическая (внеареальная) экстремальность.

Экстремальные условия среды, например, в Арктике, Антарктиде, высокогорьях, экстрааридных пустынях, а также связанные с токсичными или бедными по содержанию питательных элементов субстратами, мелководьями, интенсивными антропогенными воздействиями, специфической атмосферой или ее отсутствием во внеземных системах, приводят к формированию почв и солоидов, которые не могут быть адекватно описаны, а их генезис удовлетворительно объяснен в рамках традиционного докучаевского почвоведения и географии почв. Поведение экстремальных объектов во времени

¹² Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 20-17-00212.

и характер педогенной записи в них могут иметь как специфические, так и общие с нормальными почвами черты.

Морфоаналитическое изучение почв и солоидов экстремальных условий требует применения современных методических подходов и научного оборудования. Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН имеет большой опыт работ с почвами экстремальных условий и в астробиологии. Именно этот коллектив может стать центром разработки методологической основы изучения подобных объектов, а это позволит вместе развить полноценный научный раздел науки о почве – экстремальное почвоведение.

УДК: 631.41

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗНООБРАЗИЕ ТАЛЛОСОЛЕЙ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МОРЕЙ ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ¹³

С.В. Губин

*ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцино,
gubin.stas@mail.ru*

Исследовались основные закономерности формирования таллосолей побережья морей Восточного сектора Российской Арктики. Основная часть береговой линии здесь представлена аккумулятивными и абразионными берегами. Установлено, что формирование почв береговых территорий и специфика протекающего почвообразования определяется типом строения берегов, слагающим их материалом, ландшафтной и мерзлотной обстановкой прибрежных территорий, возрастом и динамикой их развития, активностью деятельности моря и береговых процессов, комплексом криогенных воздействий на протекающее почвообразование. Классификация почв маршевых и ваттовых территорий отсутствует.

За исключением небольших горных массивов на побережье Чукотского и Восточно-Сибирского морей большинство абразионных берегов района сложены мерзлыми высокольдистыми отложениями ледового комплекса или продуктами их голоценовой переработки – аласными толщами. Отложениями ледового комплекса выполнены невысокие едомные возвышенности, которые под влиянием термоабразионных и волновых процессов активно разрушаются, что приводит к отступанию береговой линии со скоростью 4–12 м в год. Это ведет к формированию крутых не задернованных обрывов, постоянному сползанию оттаявшего материала, отсутствию на них устойчивого почвообразования, поступлению в море больших объемов минераль-

¹³ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-04-00125.

ных масс содержащих реликтовый органический материал. К клифу здесь прилегает мелководное море, обнажающее во время сгонов обширные зоны осушки протяженностью до сотен метров.

Берега сложенные менее льдистыми отложениями озерно-алаского комплекса с развитыми на них зональными мерзлыми торфяно-глеевыми почвами и торфяниками отступают со скоростью 0.5–1.5 м в год. Обрывы подняты на 2.5–7 м над уровнем моря и в прилегающей к ним зоне расположены ватты и марши, достигающие протяженности первых десятков метров.

В формировании почв ваттов значительную роль играет поступающий с поверхности обрывов материал органогенных почвенных горизонтов. Мохово-осоковый торф с примесью мелкого растительного детрита формирует на поднятых 20–30 см над уровнем моря ваттах толщу состоящую из прослоев заиленного торфа и пылеватого суглинка. Многолетняя мерзлота находится на глубине 1 м. При высоком разнообразии строения отложений ваттов в них выявлен ряд устойчивых закономерностей определяемых режимами затопления, распределением солей. Верхние слои под влиянием регулярного чередования окислительно-восстановительных условий обладают охристой, часто пятнистой окраской определяемой присутствием зон окисленных форм железа. С глубиной возрастают признаки восстановления и засоления выраженных в появлении пятен и прослоев материала черного цвета, определяемого присутствием сульфидов.. Существующие закономерные различия в строении отложений ваттов определяемых, в том числе, и почвообразованием, позволяют их относить к профилям засоленных синлитогенных почв.

На берегах эрозионного типа почвы маршей характеризуются высоким содержанием заиленного грубого торфянистого материала. Встречаются профили полностью состоящие из привнесенного органического материала. При мощности СТС 60–80 см их следует относить к мерзлотным засоленным аллохтонным торфяникам. Минеральные части профилей, обладающие слоистым строением и имеющие на поверхности аллохтонные торфянистые горизонты, дифференцированы по степени засоления и оглеения. Материал верхних горизонтов окислен и имеет охристую окраску, средние и нижние части профилей сизовато-черные или черные, что определяется доминированием в них восстановительных условий и повышенного засоления (гор. TmrG, TmrS). Формирующиеся почвы предлагается рассматривать как мерзлотные маршевые торфянисто- глеевые засоленные.

Специфика строения аккумулятивных берегов заключается в слабом их уклоне (0.001), высокой изрезанности небольшими речными протоками по которым нагонные морские воды проникают на десятки километров вглубь суши засоля находящиеся здесь многочисленные озера и их прибрежные территории. В условиях хорошо выраженного полигонального мерзлотного рельефа происходит задержание нагонных вод внутри полигонов. В формировании почв ваттов, проникающих в глубь суши на сотни метров, грубый аллохтонный торфяный материал принимает ограниченное участие. В соста-

ве отложений доминирует мелкий в разной степени разложившийся детрит. Дифференциация профилей формирующихся здесь почв определяется формированием в верхних их частях охристых окисленных горизонтов. Средние и нижние части оглеены и засолены. На поверхности ваттов и прилегающих к ним территориях слабозадренованных маршей присутствует система морозобойных трещин, возникающих в периоды осеннего промерзания. По ним происходит выдавливание на поверхность еще влажного, пластичного материала. Эти криотурбации приводят к переносу засоленного материала из глубинных частей профилей на поверхность, перекрытию ими небольших дернин солеустойчивой растительности.

На маршах при отсутствии мерзлотного полигонального рельефа, мощности СТС 50–70 см формируются засоленные торфяно-глеевые почвы с окисленными верхними горизонтами и нижними темными горизонтами сульфидного засоления.

Вблизи моря широко распространены мерзлотные сульфидные солончаки. Для них и засоленных мерзлотных торфянистых почв установлено устойчивое увеличение степени засоления нижних частей профилей. В них летом, при отрицательных температурах нижних частей надмерзлотных горизонтов от –1 до –2,5 °С, почвенный материал находится в талом состоянии. Это связано с образованием льда во время промерзания в верхних частях профилей, увеличением здесь содержания солей в почвенных растворах, дальнейшей их нисходящей миграции и накоплением на границе мерзлотного водоупора.

В центральных частях мерзлотных полигонов в условиях застоя нагонных морских вод, частичного разбавления их атмосферными осадками формируются мерзлотные торфяно-глеевые слабо засоленные почвы. На межполигональных валах, поднятых над центральными частями полигонов на 20–30 см, при мощности СТС 40–50 см, боковая подпитка солоноватыми водами из центральных частей полигонов не происходит и идет развитие мерзлотных торфяно-глеевых или перегнойно-глеевых почв.

УДК: 631.41:577.118:001.891(268.45)(210.5)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МАРШЕВЫХ ПОЧВ (ПОБЕРЕЖЬЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ)¹⁴

С.В. Денева, Е.В. Шамрикова, С.В. Бакашкин

*Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар,
denewa@rambler.ru*

¹⁴ Исследования выполнены в рамках проекта № 20-04-00445а Гранта РФФИ “Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экстремальных условий (на примере арктических экосистем)”.

Связующим звеном биологического и геологического круговорота веществ Земли является почва – своеобразная буферная система, обеспечивающая развитие всех компонентов экосистем и биосферы в целом. Информация о фоновом содержании различных форм элементов в почвах является обязательным условием рационального природопользования, необходима для регионального и локального мониторинга [1, 2, 3 и др.]. Определение элементного состава минеральных горизонтов маршевых почв побережья Баренцева моря проведено двумя способами:

- рентгенфлуоресцентным методом на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре РеСпектр (РФА);
- методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометрах Spectro Ciros и Spectro Arcos после разложения минеральной матрицы почв смесью концентрированных кислот $\text{HF} + \text{HClO}_4 + \text{HCl}$ при $t = 180\text{ }^\circ\text{C}$ (Cools, De Vos, 2010).

Использование двух методов выявило существенное расхождение результатов измерений. Несовпадение полученных значений, помимо характеризующих методы погрешностей, может быть обусловлено следующими причинами.

Воздействие смесью концентрированных кислот не обеспечивает полного растворения отдельных компонентов. В ряде случаев наблюдается присутствие нерастворенного остатка, представленного, в основном, диоксидом кремния, в котором может иметь место окклюдирование других катионов. Не полностью разложенными возможно остаются некоторые наиболее устойчивые минералы, такие как кварц, калиевые полевые шпаты и др. При анализе сложных многокомпонентных проб, к которым относятся почвы, погрешность измерений, выполненных методом РФА, складывается из следующих матричных эффектов. Во-первых, толщина поверхностного слоя пробы, который могут преодолеть фотоны характеристического рентгеновского излучения элемента, зависит от состава этого слоя и величины энергии фотонов. Чем больше средняя атомная масса пробы (тяжелее матрица) тем меньше глубина, с которой может выйти излучение элемента. Для определения концентрации тяжелых элементов, достаточно измельчить пробу до крупности зерен порядка 100 мкм, для легких элементов этот показатель гетерогенности должен быть на 1–2 порядка ниже. Например, для натрия в алюмосиликатных пробах необходимо добиваться микронного размера зерен, что практически недостижимо. К эффектам неоднородности также относят обволакивание твердых частиц пробы, более мягкими частицами. При измельчении пробы, состоящей из разных по твердости минералов, мягкие минералы быстро измельчаются и обволакивают частицы твердых минералов, которые не достигают той же степени измельчения. В совокупности с эффектом поверхностного слоя этот эффект создает положительную долю систематической погрешности концентрации элементов, составляющих мягкие минералы. При измельчении пробы также происходит электроста-

тическое прилипание более тонких частиц поверхности более крупных, что усиливает матричные эффекты гетерогенности [4]. Во-вторых, на результат анализа существенно влияет минеральный состав проб. В зависимости от того, в каком минерале содержится определяемый элемент, можно получать разную величину аналитического сигнала при одном содержании элемента. Некоторые минералы приобретают ориентацию при прессовании материала пробы в таблетку, что приводит к разной величине аналитического сигнала при разном положении образца относительно измерительного тракта.

Способ решения описанных проблем состоит в тщательной пробоподготовке и использовании для градуировки прибора образцов, совпадающих по своим характеристикам с анализируемыми. Для РФА предел определения элемента имеет смысл только относительно к веществу, в котором определяется элемент, т.к. для разных веществ пределы количественного измерения элементов различны. При прочих равных условиях, аналитический сигнал легких элементов сильнее подвержен влиянию матричных эффектов, чем тяжелых. Этот аспект следует учитывать при анализе засоленных почв.

Указанные методические и методологические проблемы приводят к различиям в результатах определения содержания одного и того же элемента двумя методами и в тесноте связей между результатами, полученными ими. Так, метод перевода элементов в раствор смесью кислот дает систематически более высокие значения по сравнению с РФА при анализе образцов почв на содержание железа (кратность составляет 1.4–1.7), калия (1.7–2.6 раза) и натрия (1.6–3.1 раза). Обратное соотношение результатов наблюдается при измерении Mg (0.4–0.9), в меньшей степени – Mn (0.7–1). Наконец, для таких элементов как кальций и алюминий встречаются оба варианта, кратность для них составляет 0.7–1.3 и 0.8–1.7 раз соответственно. Эти факты могут свидетельствовать о том, что при обработке смесью кислот не достигается полного растворения компонентов, содержащих Mg, Mn, Ca и Al. Наиболее тесные взаимосвязи между результатами двух измерений получены для Fe и Mn ($R^2 \sim 0.99$), наименее – Na и Al (R^2 соответственно 0.38 и 0.19), для остальных элементов R^2 равен 0.6–0.7.

Литература

1. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Чуков С.Н. Ландшафтно-геохимическая оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах таежной зоны // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2010. № 2. С. 114–128.
2. Дымов А.А., Лаптева Е.М., Калашников А.В., Денева С.В. Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка и углеводородов в почвах Большеземельской тундры // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 4. С. 24–30.
3. Жарикова Е.А. Геохимическая характеристика почв восточного побережья Северо-Сахалинской низменности // Почвоведение. 2017. № 1. С. 40–47. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010154>
4. Berner R. A New Geochemical Classification of Sedimentary Environments // Journal Sedimentary Petrology. 1981. No 51. P. 359–365.

СИСТЕМА ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ КРИОГЕННЫХ ПОЧВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.И. Дергачева

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, mid555@yandex.com

В связи с активизацией в последние десятилетия хозяйственного освоения районов Севера, существенным возрастанием антропогенных нагрузок на почвы на фоне глобального изменения климата проблема устойчивости природных систем северных районов с уязвимыми к нагрузкам почвами представляет один из самых злободневных вызовов нашей эпохи. Более того, на территориях, где в виде сплошного или прерывистого распространения существуют многолетнемерзлые породы, имеет место длительное промерзание находящихся на них почв, которое обуславливает специфику режимов функционирования, свойств почв и их компонентов. О.В. Макеев (1978) считал, что мерзлота в этих случаях выступает в качестве субфактора. Обобщение и анализ представленных в публикациях второй половины XX в. – первых десятилетий XXI в. и авторских материалов о гумусовой составляющей криогенных почв разных районов криолитозоны, позволили выявить ряд специфических признаков, среди которых: часто наблюдаемое присутствие мерзлотной ретинизации гумуса; преобладание среди растворимых гумусовых веществ фульвокислот, а среди гуминовых кислот (ГК) бурых их форм и фракции 3 относительно прочно связанной с глинными минералами; часто отмечаемое преобладание в составе гумуса в период наибольшего оттаивания почв негидролизующих его форм; различие внутрипрофильного распределения содержания гумуса в почвах тяжелого и легкого гранулометрического состава; первые пока немногочисленные данные, отражающие специфику гумусовых веществ на молекулярном уровне, среди которых своеобразное соотношение основных молекулярных групп и компонентов, существенное преобладание в гуминовых веществах водорода над углеродом, алифатических компонентов над ароматическими, низкие абсолютные значения коэффициентов первого момента спектров флуоресценции и другие. Среди наиболее важных и обоснованных положений, отражающих специфичность и сохранность во времени отдельных признаков состава, структурных особенностей и свойств гуминовых кислот и их соотношения с другими компонентами системы гумусовых веществ (СГВ), выявленных нами на основе получения и анализа массивов данных (общий объем более 2,5 тысяч единиц) о СГВ криогенных почв северных территорий России (от Урала до островов северо-западной части Берингова моря), а также мерзлотных почв Забайкалья, Горного Алтая и Тувы,

полученных с позиций стандартных условий отбора образцов, выделения гумусовых веществ и их анализа, необходимо, прежде всего, отметить, что только соотношение двух из структурообразующих элементов гуминовых кислот – водорода и углерода (Н:С) – имеет величины, существенно превышающие 1,0 (1,2–1,6) и увеличивающиеся от районов южной тундры к северу; адекватно отражает количественные связи между гуминовыми кислотами и сочетанием температурных и влажностных условий среды, их формирующей; и имеет идентичные четкие индивидуальные поля в координатах Н—С в криогенных почвах любой географической приуроченности с близкими климатическими параметрами локального местонахождения исследуемых разрезов. Например, почвы южной части равнинных тундр севера Сибири и горных тундр Горного Алтая и Тувы, сформированные на участках с одинаковым сочетанием основных количественных параметров климата, имеют очень близкие статистические величины соотношения Н:С и этот показатель ГК занимает общее единое индивидуальное координатное поле, независимо от географической локализации почв в пределах криолитозоны. Эта характеристика ГК сохраняет свои параметры во времени и может использоваться в качестве маркера при реконструкции палеобиоклиматических условий разных периодов палеогеографической истории Земли. Соотношения других структурообразующих элементов (О:С и С:N) не индицируют климатические показатели, связанные с температурными режимами почв криолитозоны. Ограниченный объем настоящего сообщения не позволяет представить в полной мере даже основные выводы, имеющиеся в этих многочисленных работах, но разнообразие тем, географических привязок и результатов, полученных с использованием разнообразных методологических подходов и аналитических приемов исследований будет проинтерпретировано во время доклада. Особый акцент будет сделан на разнообразии методологических основ, с позиций которых происходит интерпретация полученных материалов, что очень часто при анализе одних и тех же данных обуславливает появление неоднозначных выводов, иногда даже противоположных, что является, пожалуй, на данный момент одной из основных проблем, от которой зависит выявление общих закономерностей поведения СГВ в условиях существенного влияния мерзлотных процессов. Будет акцентировано внимание на разных вопросах, касающихся: представлений о системе гумусовых веществ и отдельных ее компонентов как самоорганизующихся и саморегулируемых открытых (диссипативных) природных систем разного уровня организации; методов и методологических подходов к получению информации и ее интерпретации; степени адекватности отражения состояния природной среды территорий с разными режимами промерзания почвенной толщи и уровней сохранения гуминовыми веществами почв в признаках состава, строения и свойствах информации о природной среде; возможностей и ограничений извлечения из ГК информации о природной среде, в которой формировались почвы, а также перспектив и круга наиболее актуальных в этой области част-

ных проблем. Такой подход даст возможность выявить сходство и различия СГВ криогенных почв горных и равнинных территорий, а также локальных участков с идентичными параметрами климата разных регионов, обосновать в перспективе основные закономерности функционирования СГВ, почв и формирующей их природной среды в условиях разной длительности и влияния криогенных процессов и, наконец, надежду на достижение консенсуса при решении ряда дискуссионных вопросов внутри обозначенной проблемы.

УДК: 614.7

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ГИГИЕНИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ

Л.Г. Донерьян*, Л.П. Воронина*, **

**Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью ФМБА, Москва, dlg54@mail.ru;*

***Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Luydmila.voronina@gmail.com*

Проблемы антропогенного загрязнения окружающей среды с каждым годом приобретают все большую актуальность в современном обществе. Воздушный бассейн, почва и воды содержат загрязняющие вещества, что не может не отражаться на состоянии здоровья населения. В последние десятилетия наблюдается увеличение распространенности болезней, которые обусловлены состоянием окружающей среды. В зимнее время к традиционным загрязнителям воздуха и почвы вблизи автодорог присоединяется еще одна группа поллютантов – противогололедные материалы (ПГМ), которыми обрабатываются автодороги, тротуары и т.д. Традиционно в российских городах используются различные группы ПГМ: минеральный концентрат – галит; пескосоляная смесь (ПСС), состоящая из песка, отсева и технической соли; мраморная крошка (кальцит) с добавлением хлорида натрия и антикоррозионного ингибитора; гранитный щебень, на основе композиции хлористого кальция и натрия и другие [1,2].

В наших исследованиях после полного снеготаяния был проведен отбор проб почвы в функциональных зонах города Москвы с разной антропогенной нагрузкой. Большинство исследованных почв можно отнести к антропогенно-измененным почвам – урбаноземам. Значительная часть легкорастворимых соединений, применяемых в городе ПГМ аккумулируется почвами, что приводит к изменению их химического состава. В результате проведенных физико-химических исследований зафиксировано подщелачивание почв по

сравнению с фоновыми, природными почвами на 1,4–2,3 единицы. Катионно-анионный состав водной вытяжки соответствует слабой и средней степени засоления, максимальное насыщение водорастворимыми солями наблюдалось в почвах транспортной зоны (плотный остаток достигал 0,19%), что соответствует средней степени засоления. Выявленные значительные запасы натрия свидетельствует о развитии осолонцевания, которое является экологически опасным видом засоления городских почв [3]. Установлено, что большинство почв по преобладающему ионному составу относятся к хлоридно-натриевому классу. Зафиксирован рост тонкопылеватой фракции (мелкой пыли) [3]. Почвы, имеющие в своем составе поглощенный натрий, резко отличаются от всех других почв по физическим свойствам. Происходят изменения в механическом составе. Почва теряет структурные свойства, распыляется. Пыление верхнего слоя почвы, особенно в весенний период может наносить вред организму человека за счет попадания в его дыхательную систему мелкопылеватых частиц, содержащих различные химические соединения.

Эко-токсикологическая оценка почвенных образцов проводилась с использованием методов биотестирования. Для сравнительной оценки токсичности снеговых проб и проб почвы, отобранных после снеготаяния, был выбран тест генеративной (ростовой) функции инфузорий – *Tetrahymena pyriformis*, оказавшийся наиболее чувствительным в наших исследованиях. Выбор данного тест-организма продиктован сходством с высшими животными по многим характеристикам: хорошо развитые митохондрии, ферменты цикла Кребса, гемоглобин, потребность в незаменимых аминокислотах, процесс пищеварения, происходящий сначала при кислом pH, а затем при щелочном [4]. Большинство испытуемых образцов, а, конкретнее, водные вытяжки из них отрицательно повлияли на генеративную функцию простейших. Относительный прирост клеток инфузорий в почвенных экстрактах был меньше, чем в контрольном образце, а величина Кт (показателя токсичности) была меньше нормы (50%). Анализируя полученные результаты, отмечаем неблагоприятное влияние на генеративную функцию инфузорий большинства проб почвы (75%). Результаты тестирования почвенных проб коррелировали с данными снежных проб, особенно с результатами последнего отбора, выполненного в конце снегового периода. Выявленная токсичность почвенных вытяжек свидетельствует о возможном ухудшении состояния контактирующих сред: почвенного раствора и корневой системы растений, поверхностных и грунтовых вод и далее по трофическим цепям может быть причиной негативного влияния на здоровье населения.

Литература

1. ОДМ Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Утвержден распоряжением Минтранса России от 16.06.2003 N OC-548-р.
2. Технология зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей (объектов дорожного хозяйства г. Москвы) с применением противогололедных

материалов и гранитного щебня фракции 2-5 мм (на зимние периоды с 2010–2011 гг. и далее)», утвержденной 28 сентября 2011 г. № 05-14-650/1

3. Малышева А.Г., Шелепова О.В., Водянова М.А., Донерьян Л.Г., и др. Эколого-гигиенические проблемы применения противогололедных реагентов в условиях крупного мегаполиса // Гигиена и санитария 2018, 97 (11).
4. Долгов В.А., Лавина С.А., Никитченко Д.В. Оценка и взаимосвязь параметров токсичности различных веществ для инфузорий тетрахимена пириформис и белых крыс // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: агрономия и животноводство. 2014; 2: 58-65.

УДК 631.4

СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ¹⁵

**Т.С. Дудникова, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Е.М. Антоненко,
А.И. Барбашев**

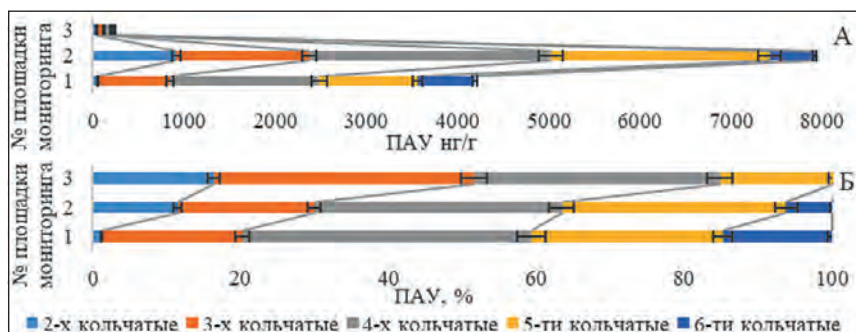
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, tyto98@yandex.ru

Идентификация источников происхождения ПАУ, в условиях непрерывного роста темпа промышленного производства в мире, является необходимостью для последующего прогнозирования санитарного состояния почв. Сравнение содержания поллютантов в почве, подверженной влиянию различных источников, послужит основой для создания систем комплексного мониторинга процессов химической деградации почв.

Объектами исследования стали: площадка мониторинга №1 – почва, расположенная вблизи (2 км) по направлению преобладающей розы ветров от предприятия энергетического комплекса (аэротехногенное загрязнение) – Новочеркасской ГРЭС (НЧГРЭС); площадка мониторинга №2 – почва бывшего шламонакопителя озера Атаманского (загрязнение жидкими промышленными отходами); площадка мониторинга №3 – почва ООПТ «Персиановская заповедная степь» (50-летняя залежь). Мониторинг почв вокруг данных объектов проводится более 10 лет. Для данного исследования выбирались почвы площадок мониторинга со схожим гранулометрическим составом, содержанием гумуса и рН. Описания свойств почв площадок мониторинга ранее изложены в работах [1, 2].

Отбор проб почвы для всех представленных площадок мониторинга проведен методом конверта на глубину 0–20 см. Извлечение ПАУ из образцов почв проводили стандартным методом [3] в модификации, при которой мешающая анализу липидная фракция почвы удаляется путем кипячения 1 гр образца в спиртовом растворе щелочи с последующей 3-х кратной

¹⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 19-74-10046.



Содержание ПАУ с одинаковым количеством колец в почвах различных объектов исследования (А) и доля полиаренов с одинаковым количеством колец от суммарного содержания ПАУ (Б)

экстракцией гексаном. Содержание ПАУ в экстракте определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260. В ходе анализа определены такие ПАУ как: 2-х кольчатые – нафталин, бифенил; 3-х кольчатые – антрацен, аценафтен, аценафтилен, флуорен, фенантрен; 4-х кольчатые – хризен, пирен, бенз(а)антрацен, флуорантен; 5-ти кольчатые – бенз(а)пирен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, дибенз(а,һ)антрацен; 6-ти кольчатый бенз(ɡ,һ,і)перилен. Содержание ПАУ с одинаковым количеством колец суммировалось. Результаты представлены на рисунке.

Суммарное содержание ПАУ в почвах площадок мониторинга различных объектов убывает в следующем ряду: №2 – 7915 нг/г > №1 – 4175 нг/г > №3 – 226 нг/г. При этом доля 6-ти кольчатого бенз(ɡ,һ,і)перилена возрастает с 0,1% в почвах объекта №3 до 6% в почвах объекта №2 и до 15% в почвах объекта №1. Доля 4-х-варьирует в пределах 34–39% для почв различных объектов. Доля 2-х и 3-х кольчатых ПАУ от суммарного их содержания существенно выше в почве 50-летней залежи по сравнению с почвами других объектов, что характерно для территорий не подверженных техногенному давлению. Доля 5-ти кольчатых полиаренов выше для почв объекта №2, чем объектов №3 и №4.

Таким образом, выявлены особенности распределение суммарного содержания ПАУ с одинаковым количеством колец для почв с различной историей техногенного преобразования. Установлено, что для 50-летней залежи в структуре ПАУ преобладают 2-х и 3-х кольчатые соединения. Для почв, подверженных аэротехногенному загрязнению, характерно наличие бенз(ɡ,һ,і)перилена. Отличительной особенностью загрязнения почв территории, ранее подверженной сбросу жидких промышленных стоков, является высокое суммарное содержание ПАУ с долей 5-ти кольчатых соединений – 30%.

Литература

1. Chaplygin V., Mandzhieva S., Minkina T., Sushkova S., Kizilkaya R., Gülser, C., Chernikova, N. Sustainability of agricultural and wild cereals to aerotechnogenic exposure // Environmental geochemistry and health. – 2019. – Vol. 1. P. 1-13.
2. Sushkova S., Minkina T., Deryabkina I., Mandzhieva S., Zamulina I., Bauer T., Kizilkaya R. Features of accumulation, migration, and transformation of benzo [a] pyrene in soil-plant system in a model condition of soil contamination // Journal of Soils and Sediments. 2018. Vol. 8(6). P. 2361-2367.
3. ISO 13877-2005, 2005. Soil quality-determination of polynuclear aromatic hydrocarbons – Method using high -performance liquid chromatography.

УДК: 631.417.2

КРУГОВОРОТ БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ И РИЗОСФЕРЕ¹⁶

И.В. Евдокимов, А.А. Ларионова

*ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», г. Пушкино,
ilyaevd@yahoo.com*

В данной работе обобщены результаты экспериментов, направленных на изучение круговорота биофильных элементов в наземных экосистемах, проводившихся по трем направлениям: I) оценке потоков «нового» (из растений) и «старого» (из гумуса) углерода; II) распределению биофильных элементов и микробной активности в почве и ризосфере; III) разработке новых методов оценки биомассы микроорганизмов в почве и ризосфере.

I. Эксперименты по оценке поступления углерода растений с С4 типом фотосинтеза в биомассу почвенных микроорганизмов чернозема и агросерой почвы показали, что углерод в составе биомаркерных жирных кислот фосфолипидов (ЖКФ) для всех таксономических групп в черноземе и агросерой почве был обогащен «новым» С4 углеродом по сравнению со «старым» почвенным органическим веществом (ПОВ), с максимальной долей в биомассе микоризы (32% и 55% от общего пула ЖКФ биомассы микоризы для агросерой почвы и чернозема, соответственно). Методологически С4 и С3 углерод разделялись по обогащению изотопом ¹³С. Была выявлена тенденция к преимущественному использованию почвенными микроорганизмами С растительного происхождения по сравнению с С гумуса, то есть отрицательный затравочный эффект. Напротив, предполагавшееся доминирование грамотрицательных бактерий и сапротрофных грибов в ассимиляции С4 в нашем эксперименте не было обнаружено. Это было связано с феноменом образования широкого ряда С4-содержащих пулов углерода с различной устойчивостью к минерализации при долговременном С3–С4

¹⁶ Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ (проект № 20-04-00343).

переходе; в результате почвенные микроорганизмы ассимилировали С как из легкоразлагаемых, так и устойчивых форм органических соединений С4 происхождения. Поэтому С4 углерод оказывался в составе биомассы не только ризосферных, но и типичных почвенных микроорганизмов. Кроме того, на долю С3 и С4 углерода в составе ЖКФ – маркеров тех или иных групп микроорганизмов большое влияние оказывало то обстоятельство, что большая часть биомассы почвенного микробного сообщества представлена покоящимися, а не активно растущими формами.

II. Распределение биофильных элементов и микробной активности в почве и ризосфере, то есть интенсивность ризосферного эффекта, выражается в величинах ризосферного фактора R_f , равного соотношению соответствующих измеряемых пулов или показателей активности в ризосфере к таковым в неризосферной почве. Определяли величины R_f для ризосферы растений овса (вегетационный эксперимент с мечением по ^{13}C). Усредненные за вегетационный период показатели микробной активности и почвенные пулы были разбиты на три группы: I ($R_f > 2$), II ($1 < R_f < 2$) и III ($R_f < 1$). Оказалось, что группа I состоит из наиболее лабильных пулов ПОВ – ^{13}C -меченое растворимое органическое вещество (ПОВ), доступный углеродный субстрат, ^{13}C – микробная биомасса, активная микробная биомасса. В группу II вошли более устойчивые («консервативные») пулы общей микробной биомассы и общего ПОВ. Единственным представителем группы III оказался растворимый азот. Динамика R_f под растениями овса для большинства представителей группы I характеризовалась максимумом в период максимальной скорости роста корней (фазы кущения, выхода в трубку и колошения), а для пулов и показателей активности из группы II был обнаружен максимум в период интенсивного отмирания корневой биомассы (фазы молочной и восковой спелости, а также период поукосного разложения корней). Динамика ризосферного фактора для растворимого азота не имела выраженных трендов.

III. Следующей точкой приложения наших усилий стала разработка новых методических подходов для изучения круговорота биофильных элементов в почве и ризосфере. В частности, нами была разработана новая модификация метода определения микробного фосфора в почве. В качестве альтернативы методу Брукса, разработанному еще в 80-е годы и предусматривающему использование постоянного коэффициента эффективности фумигации $k_P = 0.4$, нами была предложена комбинация фумигационного метода с методом анионо-обменных мембран, с определением k_P для каждого типа почвы в калибровочных экспериментах с изотопной меткой ^{33}P . Было доказано, что определение типоспецифических коэффициентов эффективности фумигации (k_P) совершенно необходимо во избежание значительных искажений величин микробного фосфора в почве.

Описанные нами направления исследований представляются наиболее интересными, так как они связаны с использованием современных методов

XXI в. – изотопных и молекулярно-биологических. По всей видимости, разработка данных направлений будет весьма перспективной и в последующие годы.

УДК 631.4

ПРИЧИНЫ НЕБЛАГОПРИЯТНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА СЕВЕРЕ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА И ЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЗДОРОВЬЕ МЕСТНОГО НАСЕЛЕНИЯ¹⁷

Е.В. Евстафьева*, Г.К. Васильева, И.Ю. Кудреватых**,
П.И. Калинин**, Г.В. Митенко****

**Медицинская академия им. С.И. Георгиевского ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь e.evstafeva@mail.ru*

***ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино Московской обл. gkvasilyeva@rambler.ru*

В конце лета 2018 г. на Севере Крыма произошла экологическая катастрофа. В г. Армянске и его окрестностях наблюдался выброс неизвестных загрязняющих веществ, который вызвал резкое ухудшение здоровья населения и другие отрицательные явления, в частности листопад и сильную коррозию металлических предметов. До настоящего времени ситуация остается напряженной. Доклад посвящен описанию предварительных выводов, сделанных на основании изучения степени загрязнения почв и сопряженных сред в северной части Крымского п-ва, а также исследований экологической ситуации и здоровья населения п-ва, проведенных КГМУ в 1990-х годах.

На Севере Крыма функционирует нескольких химических предприятий. Наиболее крупным из них является ЗАО «Крымский Титан» (ранее КПО «Титан»). Кроме того, там действуют Перекопский бромный и Крымский содовый заводы. В течение десятков лет сточные воды завода Титан, содержащие серную кислоту, и других предприятий после частичной очистки сбрасывались в кислотонакопитель, роль которого выполняет отгороженная дамбой часть Сивашского залива площадью 42 км².

Отобранные в этом регионе в 2018 и 2019 гг. образцы почвы, воды, конденсата и растительности были проанализированы методами рентген-флуоресцентного анализа, ИК-спектроскопии, а также методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермическим анализатором. Результаты анализов показали, что в почве, траве, листьях деревьев присутствуют повышенные концентрации тяжелых металлов (ТМ) и других элементов. Особенно высокие концентрации характерны для Fe, Mn, Sr, V, Zr, Ti, Ni, а

¹⁷ Часть результатов получена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-24212/18_мк. Анализы образцов воды и почвы проведены на базе ЦКП ИФХиБПП РАН.

также повышены концентрации Al, Br, Ba, Mg, Zn и Cl. Аналогичные поллютанты обнаружены в конденсате, собранном с поверхности сайдинга в утренние часы осенью 2018 г. В листьях деревьев и траве концентрация Fe была в 3–16 раз, а Zn – в 3–5 раз выше нормы. В водопроводной воде, выдержанной в открытой пластиковой емкости в течение 3 суток, резко возросли концентрации Mn и Fe до 10 и 4 ПДК для питьевой воды, соответственно.

На основании полученных данных были сделаны предварительные выводы о том, что главной причиной техногенного загрязнения окружающей среды в этом регионе являются атмосферные выбросы завода Крымский титан, содержащие различные элементы, присутствующие в ильменитовой руде, из которой получают титан. По-видимому, из-за использования артезианской воды с высоким содержанием хлоридов (после прекращения функционирования Северо-Крымского канала) в составе атмосферных выбросов повысилось содержание хлоридов ТМ, в частности FeCl₃.

При взаимодействии с водяными парами над кислотонакопителем хлорид железа гидролизуетсся с образованием концентрированной соляной кислоты. При соответствующем направлении ветра, образовавшийся в ранние утренние часы туман движется в сторону населенных пунктов, где и проявляется все негативное воздействие присутствующих в нем компонентов. Кислоты оказывают раздражающее действие на бронхолегочную систему человека и вызывают коррозию металлических предметов. Кроме того, способность соли FeCl₃ образовывать гели объясняет присутствие трудно смываемого гелеобразного налета на окрашенных масляной краской поверхностях в подъездах домов, а также появление маслянистой пленки на асфальтовом покрытии дорог, удлиняющей тормозной путь автомобильного транспорта.

Вторым источником кислотных выбросов, по-видимому, является сам кислотонакопитель, в котором за многие годы накопилось значительное количество серной кислоты в результате поступления недостаточно очищенных сточных вод с завода Крымский титан. Помимо этого, в воде кислотонакопителя постепенно повышается концентрация соляной кислоты, образующейся в результате гидролиза хлоридов, присутствующих в морской воде. В жаркое время года, при повышенных температурах воды и воздуха происходит улетучивание этих кислот с поверхности водоема, которые вместе с утренним туманом достигают ближайших населенных пунктов.

Исследования, проведенные КГМУ, показали, что еще в 1990-х годах у жителей Армяно-Краснопереконского региона Крыма, находящегося в зоне влияния техногенных выбросов, наблюдались изменения иммунной системы, зарегистрирована повышенная частота заболевания бронхолегочной системы и ОРВИ. В 1990 г. ежегодный объем атмосферных выбросов завода достигал 285 тон/год, но к 1999 г. он постепенно снизился примерно до 50 тон/год, что совпало с заметным улучшением здоровья населения г. Армянска, находящегося на расстоянии 12 км от завода. При этом индикаторными показателями отрицательного влияния техногенного загрязнения

атмосферного воздуха, как промышленными источниками, так и автотранспортом, являлась заболеваемость дыхательной системы, особенно впервые установленные ее формы (первичное обращение). Выявлена статистически достоверная корреляционная связь между показателями заболеваемости дыхательной системы жителей города и уровнем атмосферных выбросов завода ($r = 0,74$, $p < 0,01$), а также еще более тесная связь между этим показателем заболеваемости и суммарным уровнем выбросов завода и автотранспорта ($r = 0,90$, $p < 0,01$). Корреляционная связь между общей заболеваемостью населения и суммарным объемом выбросов была слабее ($r = 0,55$, $p < 0,10$). В результате исследований в 90-х годах были сделаны выводы о том, что ухудшение здоровья населения связано с потреблением местной растениеводческой продукции, выращенной на почвах, загрязненных ТМ в результате атмосферных выбросов ТМ заводом Крымский титан.

Однако в последнее время, вследствие ухудшения качества технической воды, наиболее сильное воздействие на состояние окружающей среды и здоровье населения, по-видимому, оказывают прямые атмосферные выбросы завода, содержащие хлорид железа и возможно соли других сопутствующих тяжелых металлов.

Считаем, что необходимо проведение более детальных и комплексных исследований причин загрязнения окружающей среды и выработка мер по снижению техногенного воздействия в этом регионе.

УДК 630.114 (470.21): 550.46

О ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ МОБИЛИЗАЦИИ СЕРЫ В ПОДЗОЛАХ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА

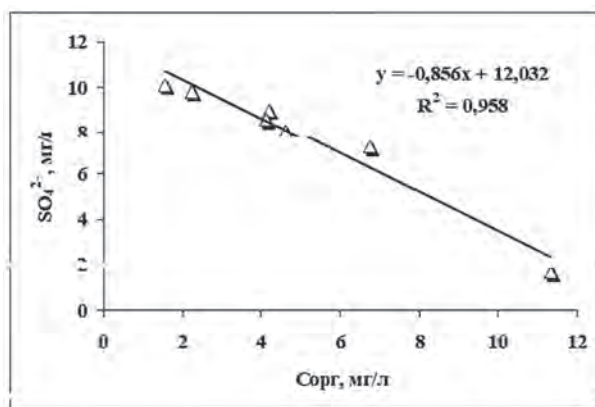
З.А. Евтюгина

*Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета,
Apatity, zina_evt@mail.ru*

Изучением процессов формирования химического состава почвенных вод занимаются почвоведы, гидрохимии, гидрогеологи, поскольку именно в почве происходит преобразование состава атмосферных осадков и образуются воды, которые, с одной стороны, отражают интенсивность и направленность современных внутрипочвенных процессов, а с другой – являются одним из главных факторов формирования химического состава поверхностных и подземных вод.

В связи с глобальным распространением в атмосфере соединений серы выявление особенностей водной миграции сульфат-иона в лесных биогеоценозах особенно актуально, поскольку миграция Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , NH_4^{+} , а также H^{+} и Al^{3+} (при определенных условиях) связана с сульфат-ионом [1].

Каждый почвенный профиль имеет свои собственные характеристики, определяющие движение вод. Для соблюдения максимально одинаковых условий водной миграции серы (SO_4^{2-}) в почвах были применены методологические обоснования, а именно: цилиндрические лизиметры, установленные в почвах одного типа (подзолы) в доминирующих растительных микрогруппировках в межкروновых участках ельников автоморфных ландшафтов (на площадках в 20, 36 и 100 км от г. Мончегорск). Не смотря на различные уровни техногенного воздействия на момент исследования изменения структуры фитоценоза на пл. 36 км были незначительны по сравнению с фоном – пл. 100 км. Почвы основных парцелл биогеоценозов (БГЦ) идентичны и по содержанию, и по составу органического вещества. Состав органического вещества в почвах пл. 20 км не меняется по сравнению с почвами площадки 36 км [2]. Поэтому для корреляционного анализа в одну выборку были включены содержания компонентов химического состава почвенных вод периода вегетации из трех лизиметров. Воды отбирались на уровне горизонтов ВС-С почвенных профилей этих БГЦ. Воды, прошедшие через эти профили были прозрачными и бесцветными. Бесцветными могут быть фульво- и низкомолекулярные кислоты [3]. Для углерода органического – Сорг и сульфат-иона в почвенных водах – SO_4^{2-} выявлена тесная отрицательная связь ($r = -0,979$, $n=7$) – рисунок. Это позволяет предполагать, что в почвах растворимое органическое вещество конкурирует с сульфатами за сорбционные центры, а Ca^{2+} ($r = -0,806$, $n=7$) может мигрировать с сульфат-ионом ($r = 0,738$, $n=7$). Нитрат-ионы (NO_3^-) наименее прочно удерживаются почвой, формируют внешнесферные комплексы на границе раздела фаз или в диффузном слое [4], при этом, для Ca^{2+} ($r = -0,936$, $n=7$) и для SO_4^{2-} ($r = -0,768$, $n=7$) выявлена отрицательная корреляционная связь с нитрат-ионами.



Литература

1. Edwards P.J. Sulfur cycling, retention and mobility in soils: a Review. USDA, Forest Service. Northeastern Research Station General Technical Report NE-250. 1998. P. 1–18.
2. Кашулина Г.М. Аэротехногенная трансформация почв европейского субарктического региона. Ч. 1. Апатиты, КНЦ, 2002. 158 с.
3. Пономарева В. В. К вопросу о кислотно-основных свойствах лизиметрических вод в подзолистых почвах // Почвоведение. 1973. № 5. С. 128–134.
4. Соколова Т.А., Трофимов С.Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв. – Тула: Гриф и К, 2009. – 172с.

УДК 631.4

МЕЖГОДОВАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЭМИССИИ CO₂ ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ЗАПОВЕДНИКА: АНАЛИЗ ДАННЫХ 20-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА¹⁸

В.А. Жмурин, Т.Н. Мякшина, И.Н. Курганова

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуцино; zhmurin.vasya@mail.ru*

Большинство эмпирических моделей используют температуру почвы (Ts) в качестве главного предиктора для численной оценки эмиссии CO₂ из почв, или дыхания почвы (SR). Наиболее часто применяемой функцией для оценки температурного отклика SR в пределах его годовой динамики является функция Вант-Гоффа, именуемая температурным коэффициентом Q₁₀ [1]. Существуют доказательства, что для одной и той же экосистемы температурный отклик SR (или коэффициент Q₁₀) не является постоянным и зависит от температурного интервала и условий влагообеспеченности, в которых происходило эмпирическое определение SR. Цель представляемого исследования состояла в анализе межгодовой вариабельности температурной чувствительности дыхания дерново-подзолистой почвы Приокско-Террасного биосферного заповедника, выполненном на основе данных 20-летнего круглогодичного мониторинга эмиссии CO₂ из почв, в течение которого наблюдались самые разные сочетания гидротермических условий.

Непрерывные определения интенсивности выделения CO₂ из дерново-подзолистой супесчаной почвы в зрелом смешанном лесу Приокско-Террасного государственного биосферного заповедника (54°55'N, 37°34'E)

¹⁸ Работа выполнялась в рамках государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № ААА-А-А18-118013190177-9) при финансовой поддержке полевых исследований из средств Программы Президиума РАН № 51 (рег. № АААА-А18-118013190179-3).

проводятся с 1997 г. Эмиссия CO_2 из почв (общее дыхание почвы, SR) определяется круглогодично (3–5 раз в месяц) с использованием камерного статического метода. Параллельно с определением дыхания почв контролируется температура и влажность почвы в слое 0–5 см. Оценка температурного отклика величины SR проводилась на базе 20-летнего ряда экспериментальных данных (1998–2018 гг.) дифференцированно для различных временных интервалов, а именно для каждого из 20 лет, в течение которых проводили определение SR, и для временных интервалов, объединяющих данные измерений за 2, 3, 4 и 5 лет. Для этой цели мы использовали температурный коэффициент Q_{10} , показывающий во сколько раз увеличивается величина SR при повышении температуры на 10°C . Для вычисления температурных коэффициентов Q_{10} , использовали линейное регрессионное уравнение между натуральным логарифмом SR и температурой верхнего слоя почвы T_p [2]: $SR = k \cdot T_p + b$. Величина $Q_{10} = \exp(10 \cdot k)$.

Выполненные численные эксперименты показали, что в зависимости от года исследований величина температурного коэффициента для SR изменялась от 1.57 до 5.27 (таблица). Согласно нашим оценкам, межгодовая вариабельность значений Q_{10} дыхания дерново-подзолистой почвы в лесном ценозе за 20-летний период исследований составила 32%. Расчеты, проведенные для отдельных календарных сезонов, показали, что в теплый период года (май–октябрь) значения Q_{10} были минимальны (1.57–2.00), а в холодный (ноябрь–апрель) – максимальны (4.51–6.46). В зимний и летний периоды связь между температурой почвы и интенсивностью выделения CO_2 была более слабой и не всегда достоверной, а весной и осенью температурные коэффициенты были близки между собой и изменялись от 2.07 до 3.40.

Таким образом, мы заключаем, что нужно очень с большой осторожностью использовать температурные коэффициенты Q_{10} для предсказания интенсивности выделения CO_2 из почв. Оценки, выполненные с использованием экспоненциальных моделей, полученных на основе экспериментальных данных за 1–2 года наблюдений, могут дать искаженные величины реальных потоков CO_2 из почв. Несмотря на то, что экспоненциальные модели с последующей оценкой температурного коэффициента Q_{10} являются в настоящее время наиболее популярными среди исследователей, их применение нельзя признать абсолютно правомерным для описания такого сложного процесса как дыхание почв.

Таблица. Величина Q_{10} и ее вариабельность в различные временные интервалы

Период	Среднее $\pm$ SE	Мин.	Макс.	Размах	CV, %
Год	2.69 ± 0.22	1.57	5.27	3.70	37
Весна	3.87 ± 0.30	1.37	6.30	4.93	27
Осень	2.48 ± 0.24	1.47	4.39	2.92	40

Литература

1. Janssens I.A., Pilegaard K. Large seasonal changes in Q10 of soil respiration in a beech forest // *Global Change Biology*. 2003. Vol. 9. P. 911-918.
2. Pavelka M., Acosta M., Marek M.V., Kutsch W., Janous D. Dependence of the Q10 values on the depth of the soil temperature measuring point // *Plant and Soil*. 2007. Vol. 292. N 1-2. P. 171-179.

УДК 631.41

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОЙ ФАЗЫ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ В СЕКВЕСТРАЦИИ АРОМАТИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ¹⁹

А.Г. Заварзина*, В.В. Демин*, А.В. Лисов, М.С. Ермолин*****

**Факультет почвоведения МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва,
zavarzina@mail.ru, vvd@gmail.com*

***ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуццоно,
lisov@ibpm.puschino.ru*

****Институт геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского РАН, Москва,
mihail.ermolin@gmail.com*

Органо-минеральные взаимодействия и окисление биомолекул органических остатков являются важнейшими реакциями биогеохимического цикла углерода, способствующими долговременному связыванию $C_{орг}$ в почвах. Фенольные соединения являются одними из наиболее реакционноспособных компонентов ОВ почв, трансформация которых в почвах приводит к накоплению ароматического углерода, в том числе в виде специфических темноокрашенных соединений гумуса – гуминовых веществ. Однако, взаимное влияние адсорбционных взаимодействий и свободнорадикальных окислительных реакций в трансформации фенольных соединений в почвах изучено недостаточно. Целью настоящей работы было изучить влияние минеральной фазы на процессы свободнорадикального окисления фенольных кислот – продуктов деструкции лигнина и влияние фенолоксидазы лакказы на адсорбционное связывание фенольных кислот.

Объектами исследования служили фенольные кислоты – пара-оксибензойная (HDB), протокатеховая (PCat), галловая (Gal), кофейная (Caf), ванилиновая (Van), сиреневая (Syg), феруловая (Fer); каолинит, модифицированный гидроксидом Al – као- $Al(OH)_x$; препарат лакказы гриба *Coprinus comatus*. Проводили реакции фенольных кислот индивидуально и в смесях с лакказой в отсутствие минерала, с минералом в отсутствие лакказы, а также

¹⁹ Работа поддержана грантами РНФ 17-14-01207 (динамические эксперименты), РФФИ 20-04-00888 (реакции в статических условиях), госзаданием 116011910185-8 (реакции в гомогенных системах).

при совместном присутствии лакказы и минерала (лакказу иммобилизовывали на минерале). Время реакции было 1 час. Концентрацию кислот до и после реакции определяли методом ВЭЖХ с обращенной фазой. Реакции проводили в статических и динамических условиях.

Установлено, что порядок окисления кислот лакказой (при их индивидуальном внесении) был следующий: Caf>Fer>Gal>Syr>pCat. Ванилиновая и пара-оксибензойная кислоты ферментом в условиях проведения эксперимента не окислялись. В присутствии минерала количество кислот (Caf, Syr, Gal, PCat), прореагировавших с лакказой, увеличивалось примерно в 2 раза. Установлено, что это не было связано с сорбцией исходных веществ. В присутствии минеральной фазы происходила сорбция продуктов реакции, что сдвигало равновесие реакции в сторону ее дальнейшего протекания. Присутствие лакказы существенно увеличивало количество кислот, сорбированных минералом (по сравнению с опытом с минералом без лакказы), что, видимо, обусловлено реакциями полимеризации и связыванием олигомерных продуктов. Данные закономерности были выявлены также в динамическом эксперименте с использованием проточной колонки и малых (близких к почвенным) концентраций веществ. Таким образом, установлено взаимное влияние минеральной фазы и свободнорадикальных реакций на связывание фенольных соединений в устойчивые органо-минеральные комплексы.

УДК 631.41

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВАХ

Ю.А. Завгородняя, В.В. Демин

МГУ имени М.В.Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, zyu99@mail.ru

Представления о фракционном составе различных элементов, ионов или молекул давно разрабатываются в теоретических и прикладных работах в области почвоведения. С физико-химической точки зрения фракции вещества или элемента в почвах выделяются по типам связи с различными по свойствам и составу фазами. Для металлов схемы выделения таких фракций разработаны и описаны достаточно подробно, широко применяются в мировой практике прогнозирования поведения этой группы элементов в почвенных условиях, например, схемы последовательной экстракции Tessier'a или BCR. Аналогичные схемы часто использовались в недавнем прошлом для фракционирования гуминовых веществ с помощью их экстракции из почвы минеральными кислотами и щелочами. Все перечисленные схемы обладают одинаковыми недостатками: неселективное растворение индивидуальных соединений, а также перераспределение веществ между фазами-носителями и образование новых форм соединений в ходе экстракции. Трудности

интерпретации получаемых результатов привели, в частности, к тому, что в настоящее время химическое фракционирование почвенного органического вещества рекомендовано заменять физическим [3].

Многочисленные исследования поведения гидрофобных органических поллютантов в экосистемах обусловили повышение научного интереса к вопросам выделения из почв и грунтов различных фракций этих органических соединений, в основном относящихся к группам углеводов и хлоруглеводородов (ПХБ). Из всего пула углеводов наибольшее внимание уделяется полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ), по которым вследствие их токсических, мутагенных, канцерогенных свойств и относительной устойчивости к деградации производится оценка экологического состояния почв и качества мероприятий по ремедиации.

Результаты физического фракционирования пула органических соединений в почве важны для построения моделей цикла углерода и связанных с ним элементов в наземных экосистемах, но малопригодны для рутинных оценок экологических рисков. Поэтому в химии окружающей среды для гидрофобных органических соединений к настоящему моменту сформировано представление о «биодоступной фракции», как о доле вещества, доступной для взаимодействия с почвенной биотой – биоаккумуляции или трансформации организмами. Биодоступная фракция гидрофобного органического поллютанта включает «легкодоступную» и «потенциально доступную» фракции. Биодоступность зависит от физических, химических и биологических свойств загрязняющих веществ, сорбционных свойств и фазового состава почвы, типа реципиентов и регулируется трехсторонними взаимодействиями между загрязняющим веществом, матрицей и организмом [1].

В течение последних двух десятилетий огромные усилия были направлены на разработку химических методов, способных прогнозировать биодоступность ПАУ в твердых матрицах [2]. Несмотря на то, что работы по данной теме еще находятся на поисковой стадии, уже предложены к использованию для фракционирования по биодоступности полиэтиленовые и силиконовые пробоотборники, сорбенты (XAD-смолы, Tenax) и C18-диски, а также аналоги природных ионофоров – переносчиков специфических органических соединений – циклодекстрины (HPBCD). Перспективным является использование «мягкой» экстракции полярными органическими растворителями.

В представленной работе изучены возможности определения фракционного состава ПАУ в верхних горизонтах городских почв (урбанозема и конструкторозема), загрязненных аэральными пылевыми выпадениями, с использованием метода экстракционного удаления биодоступной фракции углеводов *n*-бутанолом. Определено содержание биодоступной фракции фенантрена, пирена и бенз(а)пирена в загрязненных горизонтах Aug и RAT и изменение соотношения биодоступной и прочносвязанной фракций в этих горизонтах при увеличении срока загрязнения.

Получено, что на разных сроках загрязнения доля биодоступной фракции была сходной для молекул ПАУ с различным числом колец. Данный факт может быть обусловлен растворением при экстракции определенной фазы, являющейся носителем ПАУ, что приводит к их равномерному высвобождению. При старении загрязнения резкое снижение содержания биодоступной фракции ПАУ происходило в течение короткого отрезка времени – 1–1,5 месяца, затем фракционный состав полиаренов в почвах слабо изменялся. Полученные данные необходимо учитывать при краткосрочной и долгосрочной оценке экологического риска углеводородных загрязнений.

Литература

1. Ehlers L.J., Luthy R.G. Contaminant bioavailability in soil and sediment // Environmental Science and Technology. 2003. V.37(15). P.295-302.
2. Riding M.J., Doick K.J., Martin F.L., Jones K.C., Semple K.T. et al. Chemical measures of bioavailability/bioaccessibility of PAHs in soil: Fundamentals to application // Journal of Hazardous Materials. 2013. V.261. P.687-700.
3. Schmidt M.W.I., Kleber M., Lehmann J. et al. // Persistence of soil organic matter as an ecosystem property // Nature. 2011. V.478. P.49-56.

УДК: 631.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ УГЛЕРОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ ИЗ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БОЛОТ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА²⁰

Н.Н. Завалишин

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 119017, Москва,
Пыжевский пер., 3, nickolos@ifaran.ru*

Ответ на вопрос, смогут ли болота быть эффективными поглотителями излишков углерода из атмосферы при вероятных изменениях климата, зависит от величины и изменчивости эмиссии их торфяными почвами углеродсодержащих газов. Являясь составной частью круговорота углерода, эмиссия и ее изменчивость связаны с меняющимся уровнем болотных вод (УБВ), разделяющем насыщенный и ненасыщенный влагой слои торфяной залежи. Происходящие в них нелинейные процессы разложения мертвого органического вещества (МОВ) тесно связаны с круговоротом углерода, зависят от влаго- и теплопереноса в залежи и меняются под действием климатических параметров. Поэтому разработка и применение совместных динамических моделей функционирования биологического круговорота и биогеохимических процессов в торфяной залежи для болот различных типов

²⁰ Работа поддержана темой № АААА-А18-118032090072-9 государственного задания ФГБУН ИФА им. А.М. Обухова РАН.

является актуальной задачей в свете непрерывного уточнения механизмов взаимодействия биосферы и климата.

Одной из таких моделей является Комплексная Модель Болотных Ландшафтов (КОМБОЛА), которая представляет собой совокупность динамических моделей биотического круговорота, нетто-экосистемного обмена, водного баланса, тепловлагопереноса, генерации и переноса CO_2 и CH_4 в торфяной залежи, торфонакопления на верховых болотах в зависимости от УБВ на среднегодовом, сезонном и суточном интервалах времени [1]. Наиболее полно реализованы в настоящий момент модули для среднегодового шага времени. Уровень болотных вод (УБВ) выделяет в залежи два слоя – аэробный и анаэробный с различными плотностями, компонентами биотического круговорота служат живое и мертвое органическое вещество. Массо-балансовые уравнения круговорота углерода дополняются балансом влаги верхнего ненасыщенного слоя торфа, который определяется годовой суммой осадков, стоком, суммарным испарением и притоком влаги из соседних ландшафтов, и уравнениями диффузии углекислого газа и теплопереноса в аэробном слое торфяной залежи. Калибровка потоковых функций углеродного цикла использует измеренные среднегодовые значения потоков и запасов болотных ландшафтов за период 2001–2013 гг. [2], а данные об УБВ, осадках и стоке позволяют калибровать зависимости потоков влаги от влагосодержания ненасыщенного слоя торфяной залежи.

Сопряжение динамической модели биотического круговорота и одномерной по глубине торфяной залежи модели тепло-, влаго- и газопереноса позволяет сделать вычисление эмиссии более точным и одновременно получить температурные профили и распределение влаги. Основой подхода к моделированию диффузии и эмиссии CO_2 в торфяной толще стала одномерная по вертикальному профилю залежи модель из работ [3, 4], которая подверглась модификации для учета биотического круговорота.

В результате получается начально-краевая задача для общей концентрации CO_2 и температуры торфа $T_p(z)$:

$$\begin{cases} \frac{\partial C_{\text{CO}_2}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (D_{\text{CO}_2} \frac{\partial C_{\text{CO}_2}}{\partial z}) + d_2^c C_s F_d(T, w) \\ c_{\text{эфф}} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\lambda \frac{\partial T}{\partial z}) \\ C_{\text{CO}_2} |_{z=0} = C_a, C_{\text{CO}_2} |_{z=\text{УБВ}} = 0, T |_{z=0} = T_a \end{cases}, \quad (1)$$

в которой C_s – общий запас углерода в мертвом органическом веществе ненасыщенного слоя ($\text{гC}/\text{м}^2$), $D_{\text{CO}_2}(w)$ – единый коэффициент диффузии, C_a , T_a – приземные концентрация CO_2 в атмосфере и температура воздуха, $F_d(T, w)$ – фактор влияния температуры и влагосодержания на скорость разложе-

ния, λ – коэффициент теплопроводности, а $c_{\text{эфф}}$ – эффективная теплоемкость. Единый коэффициент диффузии является комбинацией коэффициентов для CO_2 в газовой и в жидкой фазах с учетом растворимости в воде и пористости торфяного слоя.

Подобная математическая модель получается для генерации и эмиссии метана из двуслойной торфяной залежи на основе работы [5].

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C_{\text{CH}_4}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (D_{\text{CH}_4} \frac{\partial C_{\text{CH}_4}}{\partial z} + Q_b) + P_{\text{CH}_4} + B_{\text{CH}_4} - R_{\text{CH}_4} \\ C_{\text{CH}_4} |_{z=0} = C_{\text{CH}_4,a}, C_{\text{CH}_4} |_{t=0} = C^0, \frac{\partial C_{\text{CH}_4}}{\partial z} |_{z=h_a+h_b} = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

где Q_b – поток пузырькового переноса, P_{CH_4} – продукция метана в анаэробном слое залежи, B_{CH_4} – поглощение метана корнями растений, R_{CH_4} – окисление метана в аэробном слое залежи.

Верификация моделей газообмена CO_2 , CH_4 и теплопереноса для среднегодового шага времени проведена на данных по плотности, стратификации торфа и профилям содержания парниковых газов в торфяной залежи типичных олиготрофных болотных ландшафтов южной тайги Западной Сибири: осоково-сфагновой топи, низкого и высокого рямов, гряды и мочажины грядово-мочажинного комплекса. Задачи (1-2) решаются совместно с массо-балансовыми уравнениями круговорота углерода на среднегодовом шаге времени.

Для моделирования последствий изменений климата использованы климатические проекции модели IPSL, основанные на двух сценариях RCP антропогенных выбросов в атмосферу в ближайшие 100 лет – «жестком» RCP-8.5 и «мягком» RCP-2.6. Исследован вопрос о максимально возможном изъятии углерода из атмосферы болотными ландшафтами южной тайги при изменениях климата по этим сценариям и о максимальной суммарной эмиссии, которыми будет сопровождаться эволюция биологического круговорота болотных экосистем.

Литература

1. Zavalishin N.N., Dyukarev E.A., Kharazhevskaya Y.A., Golovatskaya E.A., Sinyutkina A.A., Complex bog landscape model (COMBOLA) as an integrated tool for modeling biotic turnover and peat deposit processes. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, v. 211, 012029, 9 p.
2. Головацкая Е.А., Потоки углерода в болотных экосистемах южной тайги Западной Сибири. – Диссертация на соискание уч. степени д.б.н., Томск, 2013.
3. Калужный И.Л., Лавров С.А., Сезонная эмиссия двуокиси углерода в засушливый год на олиготрофном болотном массиве северо-запада России. // Метеорология и гидрология, 2005, № 10, с. 81-93.

4. Лавров С.А., Курбатова Ю.А., Математическое моделирование тепловлагообмена и потоков CO₂ на поверхности верхового болота. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2005, т. 41, № 5, с. 631-644.
5. Калужный И.Л., Лавров С.А., Решетников А.И., Парамонова Н.Н., Привалов В.И.. Эмиссия метана на олиготрофном болотном массиве северо-запада России. // Метеорология и гидрология, 2009, № 1, с. 53-67.

УДК 551.34

СОВРЕМЕННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ И МАССЫ АКТИВНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ В ЦИРКУМПОЛЯРНОЙ АРКТИКЕ²¹

Д.Г. Замолодчиков*, А.А. Маслаков, В.В. Каганов***

**Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва,
dzamolod@cepl.rssi.ru*

***Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, alekseymaslakov@yandex.ru*

Зона распространения многолетнемерзлых пород охватывает примерно четверть от площади суши. В теплое время года в этой зоне на границе атмосферы и литосферы появляется относительно тонкий слой оттаявшего грунта, в котором многократно ускоряются физические, химические и биологические процессы. Именно поэтому данный слой носит название «активного». Динамика сезонного оттаивания определяется температурным режимом почвы, существенное влияние на который оказывает целый ряд факторов, в частности, температура воздуха, теплопроводность почвы и так далее. Сочетания этих факторов в мерзлотных ландшафтах разнообразны, что создает проблемы при оценке и прогнозе воздействия глобальных изменений климата на динамику активного слоя. Изложенные соображения послужили основанием для формирования с 1990 г. международной программы «Циркумполярный мониторинг активного слоя почвы» (CALM) [3]. Стандартный подход программы предполагает устройство квадратных площадок с стороной 100 м и проведением измерений глубины оттаивания ежегодно для конца теплого сезона в узлах, расположенных через каждые 10 м. Результаты мониторинга доступны на веб-сайте программы <http://www.gwu.edu/~calm>.

Общее число площадок, измерения на которых проводились в разные годы, равно 255, из них действующих по настоящее время 150. Для многих площадок характерны укороченные ряды либо продолжительные пропуски данных. Из действовавших на 2019 г. площадок были выбраны те, у которых

²¹ Работа поддержана РФФИ № 18-35-00192 «Трансформация геокриологических условий побережья Восточной Чукотки на фоне климатических изменений».

временные ряды начинались не позднее 2001 г. Для Российской Арктики таковых площадок было 17, для остальной части Арктической зоны 34. По временным рядам данных как для Российской, так и для остальной Арктики выявлены статистически значимые тренды к увеличению активного слоя, равные соответственно 4.0 ($P=0.03$) и 6.4 ($P<0.01$) см за 10 лет. Эти тренды можно объяснить воздействием глобальных изменений климата.

Авторы доклада осуществляют долгосрочный мониторинг на двух площадках CALM: R23 Тальник (20 км южнее г. Воркута) и R27 Лаврентия (Чукотский п-ов) [2]. Тренд к увеличению активного слоя по площадке R23 Тальник составляет 29.5 см за 10 лет ($P<0.01$). Это максимальное значение тренда из всех рассмотренных пунктов CALM. Близкое значение (25.2 см за 10 лет) отмечается для площадки R1 Надым. По площадке R27 Лаврентия тренд равен 6.8 ($P=0.02$) см за 10 лет, что близко к значению для остальной Арктики. Коэффициент корреляция между Тальником и Лаврентия равен 0.51 и статистически значим ($P=0.03$), что может свидетельствовать о наличии общих факторов, действующих в масштабе Российской Арктики.

В расчете на 20 лет (2001–2020) среднее увеличение мощности активного слоя в циркумполярной Арктике составило 10.2 см. Примем, что такое увеличение характерно для 6.33 млн км³ зоны распространения равнинной и низкогорной мерзлоты [4] Используя среднюю оценку плотности верхнего слоя мерзлоты 1.21 г см⁻³ [1], получим, что масса активного слоя увеличилась на 784.15 млрд. т. Далее, считая, что содержание углерода в этой слое близко к 0.506%, найдем, что за 20 лет в биогеохимический круговорот было дополнительно вовлечено 3968.5 млн т С. Этот углерод не поступил непосредственно в атмосферу, но, тем не менее, стал субстратом для деятельности почвенных микроорганизмов.

Литература

1. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. Почвенные характеристики Северной Евразии. Свидетельство о регистрации базы данных 2018621164. Дата государственной регистрации 2 августа 2018 г.
2. Abramov A., Davydov S., Ivashchenko A., Karelin D., Kholodov A., Kraev G., Lupachev A., Maslakov A., Ostroumov V., Rivkina E.M., Shmelev D., Sorokovikov V., Tregubov O., Veremeeva A., Zamolodchikov D., Zimov S. Two decades of active layer thickness monitoring in northeastern Asia // *Polar Geography*. 2019. doi: 10.1080/1088937X.2019.1648581.
3. Brown J., Hinkel K.M., Nelson F.E. The circumpolar active layer monitoring (CALM) program: Research designs and initial results // *Polar Geography*. 2000. V. 24(3). P. 166–258.
4. Zhang T., Barry R.G., Knowles K., Heginbottom J.A., Brown J. Statistics and characteristics of permafrost and ground-ice distribution in the Northern Hemisphere // *Polar Geography*. 2008. V. 31. No 1-2. P. 47-68.

ИЗУЧЕНИЕ КРИОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ БИОГЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ ²²

О.Г. Занина*, Д.А. Лопатина**

**ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,*

Пушино, oksana.g.zanina@gmail.com

***Геологический институт РАН, Москва, dalopat@mail.ru*

Биогенные новообразования – это минеральные (биогенный кремнезем) и органические образования в почвах и отложениях, представляющие собой части или стадии жизненного цикла живых организмов, возникновение которых непосредственно связано с их жизнедеятельностью и условиями обитания. В работе рассматриваются микроостатки, размер которых варьирует от единиц до нескольких сотен микрометров. В почвах и отложениях Северо – Востока России наиболее часто встречаются фитолиты, споры, пыльца, растительный детрит разного ботанического состава, плодовые тела и гифы грибов, спикеры губок и раковины диатомовых водорослей, амёб, фораминифер, обрывки колоний зеленых водорослей и остатков других пресноводных организмов (цисты, яйца, эфипиумы дафний, створки и карапаксы остракод, мшанки, и т.д.).

В работе изучались биогенные новообразования из поверхностных проб различных ценозов Северо – Востока России, анализ типов их повреждений и выявление особенностей действия на них криогенных процессов. Объектами явились многолетнемерзлые голоценовые отложения низких террас и пойм, термокарстовых озер (аласов) и многочисленные генетические типы современных осадков, в том числе озерно-болотные отложения, современный аллювий, склоновые отложения и профили современных почв.

Криогенное выветривание – селективное разрушение минералов в результате повторяющихся циклов промерзания-оттаивания, является наиболее интенсивным процессом, сопровождающим превращение осадка в многолетнемерзлые отложения. До сих пор остается малоизученным характер преобразования органогенного материала при криогенном выветривании. С одной стороны, специфика криолитозоны с преобладанием низких температур и подавленной микробиологической активностью определяет слабую трансформацию органики. При быстром захоронении и переходе в мерзлое состояние микрофоссилии, в частности споры, пыльца, фитолиты, растительные ткани и т.д. хорошо сохраняют свои специфические черты, что дает возможность использовать их при палеоэкологических исследо-

²² Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-05-00559 А и по теме государственного задания ИФХиБПП РАН рег. № ААААА18 – 18013190181-6 и ГИН РАН рег. № АААА-А-18-118021690155-7.

ваниях рассматриваемых толщ. С другой стороны, криогенные процессы, вероятно, в значительной мере «стирают» информацию о существовавших биоценозах, приводя к разрушению не только минералов, но и биогенных новообразований в материале сезонно-талого слоя.

Сравнительный анализ содержания, размеров, форм биогенных микроостатков в отложениях ЛК различного возраста и генезиса показал, наиболее хорошую их сохранность и разнообразие в органогенных слоях погребенных почв, автохтонных торфяниках и озерных отложениях.

Изучение морфологии биогенного кремнезема показало, что в материале отложений постоянно присутствуют корродированные частицы. На поверхности фитолитов встречены так же отдельные каверны, часто поверхность имеет чешуйки, что свидетельствует об интенсивном выветривании. Наиболее часто встречаются корродированные удлинённые, ланцетные и трапециевидные формы. Для спикул губок характерны трещины, которые являются результатом интенсивного выветривания при фазовых переходах. Палинологические остатки из поверхностных проб изучаемой территории в основном имеют разрушения физического типа (разрывы и трещины). Наибольшее число разрывных нарушений установлено на пыльце *Larix* sp., *Pinus* s/g *Haploxydon*, семейств *Рoaceae* и *Ericaceae*. Экзина *Larix* имеет гранулярное строение, гранулы часто не связаны между собой, в результате чего пыльца быстро разрушается. Вероятно, этим объясняется ее низкое содержание в пробах и значительный процент поврежденной пыльцы. Сравнительно редко выявлены разрывы пыльцы семейства березовых — *Duschekia*, *Alnus* и *Betula*. Пыльца перечисленных таксонов обычно имеет мелкие размеры и, возможно, из-за этого меньше подвержена разрывным нарушениям. Процент содержания пыльцы с кавернозными повреждениями, обусловленными деятельностью бактерий, обычно низкий. Это связано прежде всего с подавленной микробиологической активностью в условиях низких температур криолитозоны.

На основании полученных результатов подтверждена криогенная деструкция органических новообразований, выявлены основные ее типы, характерные для разных природных условий изучаемого региона. Полученные результаты могут быть использованы при уточнении генезиса плейстоценовых отложений криолитозоны и реконструкции палеогеографических условий их формирования.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ХОДЕ КРИОСИНЛИТОГЕННОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ЕДОМНОЙ СВИТЫ (СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРИ)

Н.С. Зимов, С.А. Зимов

*Северо-Восточная научная станция Тихоокеанского института географии
ДВО РАН, Республика Саха(Якутия), Черский, nzimov@mail.ru*

Мерзлота является крупнейшим резервуаром органического углерода на планете, объем которого по разным оценкам составляет 1400–1700 миллиардов тонн.

Синкриогенные позднеплейстоценовые суглинки едомной свиты, широко распространенные на Северо-Востоке Сибири, могут рассматриваться как гигантская синлитогенная почва с высоким содержанием органического вещества. Запасы углерода в многометровой толще этих отложений местами превышают 1 т/м².

Формирование криосинлитогенных почв происходило в условиях высокопродуктивных пастбищных экосистем – мамонтовой тундростепи. Нами разработана модель накопления органического вещества в ходе позднеплейстоценового почвообразования и консервации углерода в многолетней мерзлоте по мере осадконакопления. Модель позволила воссоздать природные условия Мамонтового Биома, а также оценить параметры биологического круговорота в период его функционирования.

После окончания ледникового периода, мерзлота на значительной территории Евразии исчезла, что привело к высвобождению порядка 1000 миллиардов тонн накопленного углерода в раннем голоцене. Плодородные почвы мамонтовых тундростепей были уничтожены денудацией или потеряли большую часть органического вещества в результате окислительных процессов.

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ В ПРОЦЕССЕ СОРБЦИОННОЙ БИОРЕМЕДИАЦИИ²³

Л.В. Зиннатшина*, Г.К. Васильева, Е.Р. Стрижакова****

**Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных
и ароматических растений, Москва, l.zinnatshina@mail.ru*

***Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения –
обособленное подразделение ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических
исследований РАН», Пушкино, gkvasilyeva@rambler.ru*

Почва – динамичная система и ее физико-химические характеристики естественно и закономерно изменяются вслед за изменением условий окружающей среды. С появлением антропогенной нагрузки и ростом ее интенсивности происходит стремительное химическое преобразование почвы, что приводит к образованию хемоземов. Одними из основных источников загрязнения почвенной среды в современном мире являются нефть и нефтепродукты. Подвергшись загрязнению углеводородами, почва, в первую очередь, теряет способность впитывать и удерживать влагу. Возросшая гидрофобность и нарушение водного режима изменяют ее плотность и пористость. Вытесняя собой почвенный воздух, нефть приводит также к нарушению воздушного режима почвы. Изменяется естественный баланс веществ почвенного раствора вследствие приобретенного избытка одних соединений и нехватки других, что приводит к изменению реакции среды и окислительно-восстановительных свойств. В составе гумуса концентрация органического углерода резко увеличивается, в то время как содержание гуминовых и фульвокислот снижается, что сказывается на плодородии почвы. Как результат, подвергшись загрязнению нефтяными углеводородами, почва теряет свои естественные свойства и становится непригодной в качестве среды обитания для живых организмов, потенциальным источником загрязнения сопряженных сред, а также исключается из хозяйственного использования человеком.

Для восстановления почвы требуется проведение эффективных очистительных и рекультивационных мероприятий на нарушенных участках. Существует множество разнообразных методов очистки нефтезагрязненной почвы, тем не менее, далеко не каждый из них приводит к полному восстановлению ее первоначальных свойств [1]. Исследования, проводимые в течении многих лет в лаборатории физико-химии почв ИФХиБПП РАН, показали эффективность применения метода сорбционной биоремедиации в восстановлении, а также улучшении свойств почв, сильно загрязненных

²³ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ_мк 19-29-05265

органическими поллютантами, включая нефть и нефтепродукты [2, 3]. Наблюдения за изменением свойств нефтезагрязненной почвы в ходе ее биоремедиации проводили в рамках 3-х-летнего микрополевого эксперимента на примере серой лесной почвы, загрязненной выветренной нефтью средней плотности в концентрации до 50 г/кг. В эксперименте оценивалась эффективность применения натуральных сорбентов разного происхождения на восстановление свойств почвы и ускорение процесса биоремедиации. Было изучено влияние сорбентов на изменение гидрофильности почвы, ее влагоемкости, пористости и объемной массы, изменение pH почвы, концентрацию углеводородов нефти (УВН), в том числе бенз(а)пирена и других полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Также при помощи биотестирования оценивали уровень токсичности почвы, наблюдали за изменением численности микроорганизмов-нефтедеструкторов и гетеротрофов. На рисунке ниже представлены некоторые данные, полученные через 2 сезона с начала эксперимента (при максимальной дозе внесения сорбента). Показано положительное влияние сорбентов на повышение гидрофильности очищаемой почвы, снижение концентрации УВН, а также отсутствие накопления в присутствии сорбентов ПАУ в надземной части растений клевера (*Trifolium rubens*), выращенного на загрязненной почве.



По результатам эксперимента было установлено положительное влияние сорбентов на все изученные свойства нефтезагрязненной серой лесной почвы, отсутствие токсичности для растений и микроорганизмов со стороны сорбентов, а также их положительное влияние на гидрофильность и рост растений в очищенной почве.

Литература

1. Vasilyeva G.K., Bakhaeva L.P., Strijakova E.R., Shea P.J. Biodegradation of 3,4-dichloroaniline and 2,4,6-trinitritoluene in soil in the presence of natural adsorbents // Environmental Chemistry Letters. 2003. V.1. № 3. P. 176-183.
2. Зиннатшина Л.В., Стрижакова Е.Р., Даньшина А.В., Васильева Г.К. Влияние сорбентов на скорость биоремедиации и свойства почвы, загрязненной смесью нефтепродуктов // Естественные и технические науки. 2018. №9. С. 24-30.

3. Слюсаревский А.В., Зиннатшина Л.В., Васильева Г.К. Сравнительный эколого-экономический анализ методом рекультивации нефтезагрязненных почв путем биорекультивации *in situ* и механической замены грунта // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 11. С. 40-45.

УДК 57.042:630*114.351

КАЧЕСТВО ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК И ПОЧВ В КУСТАРНИЧКОВЫХ СИНУЗИЯХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Е.В. Зубкова*, М.А. Надпорожская, П.В. Фролов*,
С.С. Быховец*, Г.Г. Фролова***

**ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пузино,
elenazubkova2011@yandex.ru, ximikadze@gmail.com, s_bykhovets@rambler.ru,
zingular@mail.ru*

***Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
marinta@mail.ru*

Обширный круг задач управления лесами и вопросы охраны природных ресурсов нуждаются в прогнозе тенденций развития лесов. Имитационное моделирование позволяет комплексно рассчитывать влияние факторов, включая климатические, в сочетании с разноплановым антропогенным воздействием (лесохозяйственная деятельность, рекреация, влияние промышленности и транспорта). До недавнего времени большинство работ было направлено на моделирование динамики древостоя, однако, современные исследования показали необходимость одновременно учитывать вклад растений напочвенного покрова, как в пул биологической продукции, так и для прогнозирования функционирования леса как биологической системы (регулирование влажности почвы, температурный режим, обеспечение органическим веществом фауны).

Целью работы является анализ материала комплексных полевых исследований кустарничков *Vaccinium myrtillus* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. и почв соснового леса для параметризации моделей динамики живого напочвенного покрова CAMPUS-S и динамики органического вещества почв Romul_Hum [1].

Исследования проводили в одинаковых климатических условиях на участках с разной антропогенной нагрузкой: 1) сосняк кустарничковый (9С1Б) в Отрадинском участковом лесничестве (ОУЛ) опытного лесного хозяйства «Русский лес» и 2) сосняк сложный (4С4Б2Е+Лп) со вторым ярусом (6Е2Лп1Д1Б) в Приокско-Террасном биосферном заповеднике (ПТЗ). Участок в ОУЛ имеет слабо волнистый рельеф, что позволяет анализиро-

вать разные условия увлажнения почв; условия освещенности под пологом соснового древостоя достаточно однородны. Участок ПТЗ характеризуется выровненным рельефом и контрастным режимом освещенности травяно-кустарничкового яруса (ТКЯ) благодаря хорошо развитому второму ярусу из ели (*Picea abies* (L.) Karst.) и липы (*Tilia cordata* Mill.). Проведен отбор проб (в трехкратной повторности) из почвенных генетических горизонтов: верхнего корнеобитаемого слоя минеральной почвы и лесной подстилки по трем подгоризонтам: О' (L, опад), О'' (F, ферментативный), О''' (H, гумусовый) для шести вариантов ТКЯ: 1 – доминирование брусники (вершины песчаных дюн), 2 – доминирование черники (нижние части склонов дюн), 3 – со-доминированием черники и брусники (склоны дюн); 4 – со-доминированием черники и брусники (межкроновые пространства), 5 – мертвопокровник под липой, 6 – мертвопокровник под елью. Варианты 1–3 расположены на территории ОУЛ, 4–5 – в ПТЗ. Определение содержания валовых С и N проведено на анализаторе CHNS-932 фирмы LECO (США).

Проведенное в ПТЗ исследование влияния деревьев на лесную подстилку и минеральную почву было спланировано с учетом опубликованных ранее данных о более высоком содержании азота в опаде под липой по сравнению с елью [3]; положение участков 5 и 6 под кронами деревьев в отсутствии травяно-кустарничкового и мохового яруса позволило исключить их вклад в значения C/N. Результаты статистически значимо показали большую трофность почв под липой, в сравнении с елью. На изученных участках ОУЛ отношения C/N поверхностных минеральных горизонтов почвы статистически значимо выше (30 ± 4.2), чем в заповеднике (23 ± 2.3), что может быть объяснено действием комплекса факторов, среди которых: рельеф; рекреационное использование территории ОУЛ, приводящее к частым низовым пожарам [2]; а также более разнообразный породный состав древостоя на участке ПТЗ.

Отношение C/N в лесной подстилке бруснично-черных парцелл участков ОУЛ (25.5 ± 1.3) и ПТЗ (25.0 ± 0.9) статистически не различаются, что показывает определяющее влияние кустарничков в разных типах соснового леса на органические горизонты почвы при их совместном доминировании.

Полученные результаты были использованы при подготовке сценариев для вычислительных экспериментов, которые показали совместимость моделей CAMPUS-S и Romul-Hum, а также реалистичное воспроизведение динамики запасов органического вещества почв в ходе роста и развития сосняка кустанического в течение 80 лет.

Литература

1. Лаборатория моделирования экосистем. Модели. URL: [http://www.ecomodelling.ru/] (дата последнего обращения 10.05.2020).
2. Надпорожская М.А., Зубкова Е.В., П.В., Фролов П.В, Быховец С.С., Чертов О.Г. Соподчиненность почвенных условий и растительных сообществ в сосняках как

следствие действия комплекса факторов // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2018. № 2. С. 122–138.

3. Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах Европейской части СССР. М.: Изд. МГУ. 1959. 284 с.

УДК 631.4

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ РОССИИ СОТРУДНИКАМИ ИАП АН СССР – ИФХиБПП РАН ЗА 50 ЛЕТ (1970–2020)

И.В. Иванов

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
– обособленное подразделение ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических
исследований РАН», Пушкино, ivanov-v-28@mail.ru*

Эволюция (развитие) почв – фундаментальная проблема почвоведения. Конкретные сведения о развитии почв – важная составная часть представлений о развитии биосферы и жизни на Земле, об истории взаимодействия природы и общества. Основатель и первый директор института В.А. Ковда, ученый мирового уровня, говорил, что «время статического подхода к почвам закончилось». В институте реализованы и развиваются следующие направления изучения изменений почв во времени.

Вопросы истории, методики и методологии исследований. Метод генетического анализа почвенного профиля позволял делать выводы о последовательности событий, но не мог их датировать. Проблема была решена изучением датированных почв археологических памятников. Опыт работ А.Г. Гаеля, Л.Н. Гумилева (1960), И.А. Крупеникова (1960), П.В. Маданова с соавт. (1967), Л.Г. Динесмана (1977), В.П. Золотуна (1974) и др. бл. обобщен в Работы с археологами были начаты в 1975–1976 гг. Их методические итоги отражены в публикациях: И.В. Иванов «Почвоведение и археология» (ж. Почвов., 1978, 10), И.В. Иванов, А.Л. Александровский «Методы изучения эволюции и возраста почв» (1984). Началось сотрудничество почвоведов с представителями многих наук и специальностей – археологии, палеогеографии, геоморфологии, четвертичной геологии, специалистов в области палинологии, палеонтологии, радиоуглеродного анализа и другими.

Эволюция черноземов и каштановых почв изучается в институте систематически с 1975 года И.В. Ивановым, О.С. Хохловой, С.В. Губиным, Л.С. Песочиной, В.А. Демкиной, А.В. Борисовым, А.Ю. Овчинниковым и др. Начало развития этих почв на лёссах можно отнести к периоду 12–15 тыс. л. н., когда они находились, преимущественно, в состоянии криоаридных почв с мерзлотой, местами с надмерзлотной верховодкой, с полигонально-блоковым строением слабозасоленной карбонатной лессовой толщей [2, 7, 8, 9].

С атлантика климатические различия между ареалами почв возрастают, траектории развития почв в них различаются.

Черноземы. Тренд развития – колебательное рассоление, выщелачивание, чередование растрескивания на полигоны с гомогенизацией почвенной массы, колебательный прирост гумусового горизонта, накопление органического вещества и его биогеохимическое обновлении в полуметровой верхней части. Мощность гумусового горизонта черноземов за 6000 лет увеличилась на 30–50% от современной. Наибольшая скорость прироста мощности наблюдалась за последние примерно 3,7–2,5 т.л.н.(до 3 см/100 лет). Средняя скорость прироста гумусового горизонта составляет 1 см/100 лет. За последние 2,5 т.л. роста гумусового горизонта не происходило. Черноземы имели наибольшую мощность в 18–19 веках н.э.[7,9].

Каштановые почвы сухих степей характеризовались незначительным приростом (до 10см) мощности гумусового горизонта, возможно, его обновлением при дефляции и последующей гумификации подстилающего слоя. Происходили изменения солонцеватости почв, концентраций и глубин залегания легко водорастворимых солей, гипса и карбонатов. Имели место контрастная трансформация почв во времени в ранге типа – подтипа на близких территориях, смещение зон-подзон. 6–5,7 т.л.н. и 4,2–3,9 т.л.н. почвы объектов, близко расположенных друг от друга, изменяли свой облик от южных черноземов/темно-каштановых почв до бурых, близких по морфологии к почвам бэровских бугров. Реконструировано атмосферное увлажнение на территории Волгоградской области за 6 тыс. лет [5,6,8]

Археологическое почвоведение (термин предложил В.А.Дёмкин) решает задачи, общие для археологии и почвоведения, вопросы взаимодействия природы и общества в далеком прошлом. В 2003 г. В.А.Демкиным была организована группа, в 2004 г. – лаборатория археологического почвоведения, которой он руководил до своей кончины в 2013 году.

Развитие лесных почв. При традиционном изучении лесных почв в центре внимания находился почвенный профиль и процессы миграции вещества с растворами и взвесями, формирующие горизонты. Ученик проф. О.В. Смирновой д.б.н. М.В. Бобровский [3] разработал другой исследовательский подход – выявление роли лесных сукцессий (в частности, биотурбаций и, особенно, ветровалов) и типов природопользования в развитии лесных почв. Это позволило прояснить ряд проблем, но были предложены и спорные решения. Одно из них – влияние рубок на подзолообразование.

Палеокриогенез и современное почвообразование. Почвоведы В.М. Алифанов и Л.А. Гугалинская несколько лет изучали почвы Забайкалья – мерзлотные, криоземы, в которых воздействие низких температур на свойства почв (современный криогенез) выражено очень сильно. Обладая таким опытом, ученые пришли к выводу, что главные особенности строения почв и почвенного покрова Нечерноземья (и Подмосковья) являются реликтами ландшафтов, периода 15–20 и до 14–12 т.л.н. в позднеледниковье. К ним

относятся литологические различия между горизонтами, глубокие (1–2 м) языки-клинья с черными пленками, «карманы» от вытянувшихся ледовых тел, глубиной до 4–5 м, наличие гумусовых прослоев и «вторых гумусовых горизонтов», иерархическая двух-трех уровневая мерзлотная полигональность мезо и микрорельефа, некоторые другие. Диаметр полигонов от 12 до 40 м, ширина полос между блоками – 5–7 метров, перепады высот между повышениями и понижениями в блоках и межблочьях от 10–20 см до нескольких метров (наиболее часто около 50 см)[2]. Изучались современные почвенные процессы и свойства в серых лесных и дерново-подзолистых почвах-водные, температурные режимы, сроки и глубины промерзания, оттаивания, промачивания, высыхания, восходящего движения питательных веществ, деятельность дождевых червей и землероев и т.д., связь урожайности с погодно-климатическими параметрами и с периодичностью солнечной активности. Режимные наблюдения подтвердили реликтовость отмеченных выше свойств почв .

Лёссово-почвенные серии и происхождение лёссов – сложная проблема географии и геологии. Обсуждаются вопросы олового накопления и источники поступления лёссового материала, хронология слоев и межрегиональная корреляция серий, палеопедоклиматические реконструкции. Серьезное методическое значение имеет труд д.с-х.н. И.Н. Степанова о лёссах Чарвакской котловины (Степанов, Абдуназаров, 1997). Л.А. Гугалинская и В.М. Алифанов на основании исследований брянской почвы и лёсса памятника Сунгирь и других объектов разработали концепцию морфолитопедогенеза, с выделением инициальных почвенных профилей, педоциклитов, педолитоциклитов [6]. К.б.н. П. Калинин и чл.- корр. РАН А.О. Алексеев применили при исследовании лёссов литогеохимические коэффициенты, сделали вывод об усилении аридизации в эпохи лёссонакопления на протяжении всего плейстоцена [9]. К.б.н. Я.Г. Рысков показал, что изотопный состав сульфатов почв и лёссовых пород Северного Кавказа из разных источников (7,8–8,3‰) вероятно прошел усреднение в атмосферной среде и не связан с сульфатами подстилающих морских отложений [8].

Генезис и развитие почв «едом» приморских низменностей Якутии исследуют д.б.н. С.В. Губин, к.н. А.В. Лупачев и А.А. Еремеева [4,8]. Едомы – водораздельные пространства, сложенные сочетанием многолетнемерзлых пылеватых суглинков (криопедолитов) мощностью 50–100 м с горизонтальными прослоями эпигенетичных примитивных палеопочв (былых «дейтельных» слоев) с пронзающими толщу насквозь или частично крупными вертикальными клиньями полигонально-жильного льда, занимающего более объема толщи едомы. Главная особенность экологии едом – недостаток тепла. Расшифрована история их формирования, выявлены ряды эволюции почв, отражающие процесс деградации едом. Установлено, что береговая линия обрывов едом океанического побережья в настоящее время отступает в сторону суши со скоростью от 2–4 до 6–8 м/год.

Палеопочвы девона и карбона. Исследования на стыке почвенных и геологических наук проводятся в институте, начиная с 2004 г. в лаборатории геохимии и минералогии почв член-корр. РАН, д.б.н. А.О. Алексеевым и Т.В. Алексеевой. Т.В. Алексеева подготовила к защите докторскую диссертацию на тему «Почвообразование и почвы в девоне и карбоне на территории Северной Евразии: строение, типы, биота, палеоклиматические архивы и стратиграфическая значимость» [1,6]. Открыты и изучены неизвестные ранее почвы и новые объекты, которые ранее почвами не считались.

Литература

1. Алексеева Т.В. Почвообразование и почвы в девоне и карбоне на территории Северной Евразии: строение, типы, биота, палеоклиматические архивы и стратиграфическая значимость. Автореф. дисс. ... д.г.-м.н. – М. ПИН РАН. 2020а. 45 с.
2. Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН. 1995. 320 с.
3. Бобровский М.В. Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования. М.: КМК. 2010. 416 с.
4. Губин С.В., Лупачев А.В. Почвы суглинистых водоразделов приморских тундр севера Якутии: условия и процессы формирования // Почвоведение. 2017, № 2. С.147-157.
5. Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении истории природы и общества. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН. 1997. 213 с.
6. Демкин В.А., Гугалинская Л.А., Алексеев А.О. и др. Палеопочвы как индикаторы эволюции биосферы. – М.: НИА «Природа». 2007. 287 с.
7. Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М.: Наука. 1992. 142 с.
8. Иванов И.В., Александровский А.Л., Макеев А.О.,.....Борисов А.В., Губин С.В., Демкин В.А., Демкина Т.С., Хохлова О.С. Эволюция почвенного покрова. М.: ГЕОС. 2015. 925 с.
9. Калинин П.И., Алексеев А.О., Савко А.Д. Лессы, палеопочвы и палеогеография квартала го-востока Русской равнины. Тр. Нии геологии Воронежского гос. ун-та. Вып. 58. Воронеж.Воронежск.гос ун-т. 2009. 140 с.

ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ НА ЧЕРНОЗЁМЕ В ЗЕРНОПАРОПРОПАШНОМ СЕВООБОРОТЕ И ЕЁ МОДЕЛИРОВАНИЕ²⁴

**И.А. Ильичёв*, В.А. Романенков*, **, А.А. Контобойцева*,
П.В. Красильников***

**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва,*

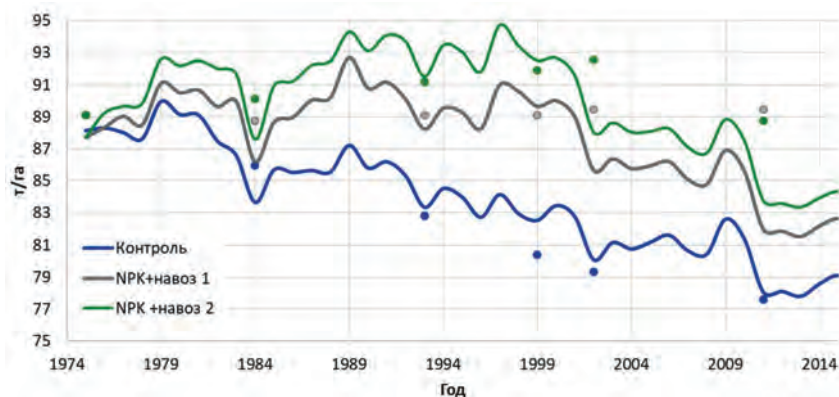
***ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, г.Москва, e-mail: geoset@yandex.ru*

Концентрация углекислого газа (CO₂) в атмосфере увеличивается с беспрецедентной скоростью: она возросла с доиндустриальных значений 280 ppm до 415 ppm в 2019 году, что во многом является результатом антропогенной деятельности. Часть потерянного при распашке почв углерода (C) может быть возвращена в почву при изменении агротехнологий, тем самым уменьшая концентрацию CO₂ в атмосфере [1]. Управление процессом накопления углерода в пахотных почвах требует точного учета влияния специфических взаимодействий между климатом, почвой и системами земледелия на его секвестрацию. Эта задача может быть решена при моделировании динамики запасов почвенного углерода на основе данных длительных полевых наблюдений.

В настоящей работе была воспроизведена динамика запасов почвенного углерода в пахотном горизонте чернозема обыкновенного среднемощного мицеллярно-карбонатного тяжелосуглинистого за 40-летний период. Длительный опыт «Эффективность минеральных и органических удобрений в зависимости от насыщенности ими севооборота» был заложен в 1974 г. на трех полях Федерального Ростовского аграрного научного центра, Ростовская область. Участок до закладки опыта находился в длительном использовании под пашню. Севооборот зернопаропропашной. В первой ротации: чистый пар; озимая пшеница; озимая пшеница; горох; озимая пшеница; яровой ячмень; кукуруза на силос; озимая пшеница; подсолнечник. Со второй ротации: чистый пар; озимая пшеница; кукуруза на зерно; яровой ячмень; кукуруза на силос; озимая пшеница; горох; озимая пшеница; подсолнечник. Начальное содержание углерода в слое 0–30 см составляло 2,54%, что соответствовало запасу 88,5 т/га. Для моделирования использованы данные 1975–2011 гг. по следующим вариантам: абсолютный контроль, 7,4 т/га навоза + N37P27K19 в среднем за севооборот (1) и 10,4 т/га навоза + N66P50K35 (2).

Для моделирования использована модель Ротамстедской опытной станции RothC, исследующая круговорот органического вещества в пахотном

²⁴ Финансовая поддержка исследования получена в рамках проекта «Управление депонированием атмосферного углерода пахотными почвами России» Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», УИМП проекта RFMEFI61618X0105.



Динамика запасов (т/га) органического углерода почвы, рассчитанных по модели RothC (линии) и определенных экспериментально (точки) в пахотном слое.

слой с месячным шагом, учитывающая влияние типа почвы, температуры, влажности почвы и растительного покрова [2]. Для запуска модели была дополнена ранее созданная БД стандарта EuroSOMNET – Европейской сети полевых опытов по изучению органического вещества почвы, в который входит описанный выше опыт. Настройка модели проводилась по контрольному варианту, с использованием остальных вариантов в качестве независимых для проверки качества настройки. Статистическая оценка результатов моделирования Modelval обнаружила удовлетворительную сходимость экспериментальных данных опыта с расчетными для всех исследуемых вариантов.

Запасы углерода возрастали с 88 до 92–94 т/га в вариантах с органо-минеральной системой удобрения в течение первых трех ротаций, но затем накопленный углерод был потерян, что указывает на неравновесность запасов С и значительную зависимость от продуктивности севооборота (рисунок). В контрольном варианте за тот же период при многолетнем отрицательном тренде запасов С было потеряно 10 т/га от исходных запасов. Скорость накопления в благоприятные годы, также как и потери при паровании снижались в ряду навоз+NPK2 > навоз+NPK1 > контроль. Показано, что при среднегодовом поступлении С ниже 2,5 т/га невозможно обеспечить его эффективную секвестрацию.

Литература

- Smith P., Martino D., Cai Z. et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture // Philos. Trans. R. Soc. B. 2008. Vol. 363. P. 789–813.
- Coleman K., Jenkinson D.S. RothC-26.3 – a model for the turnover of carbon in soil // Evaluation of soil organic matter models using existing long-term datasets (eds. D.S. Powlson, P. Smith and J.U. Smith). Proceedings of the NATO Advanced Research workshop. NATO ASI Series I. Berlin: Springer Verlag, 1996. Vol. 38. P. 237–246.

СРАВНЕНИЕ ДЕГРАДАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ НЕЗАГРЯЗНЕННЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЛЛЮТАНТАМИ ПОЧВ

Л.Р. Иминова*, Т.З. Есикова, Т.О. Анохина**, В.Н. Поливцева**,
И.П. Соляникова****

**Пуцинский государственный естественно-научный институт, Пуцино,
laboratoriya@ecooilservice.ru*

***ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцино,
das3534@rambler.ru*

Масштабы загрязнения почв токсичными соединениями возрастают год от года. Это могут быть как природные соединения (нефтепродукты, ароматические углеводороды, н-алканы), так и антропогенные вещества (ε-капролактам, хлорсодержащие пестициды, полихлорированные бифенилы и т.д.), поступающие в окружающую среду в результате хозяйственной деятельности человека. Органические загрязнители обладают высокой токсичностью, устойчивы к разрушению в естественных условиях, плохо растворимы в воде и способны накапливаться в почвах и живых организмах [1].

Важнейшая роль в очистке окружающей среды, в том числе, биоремедиации загрязненных почв принадлежит микроорганизмам различных таксономических групп, которые способны полностью разлагать токсичные поллютанты или трансформировать их до безопасных и легко утилизируемых субстратов. В связи с этим всестороннее изучение микроорганизмов-деструкторов является перспективным направлением исследований. Целью данной работы было выделение и характеристика новых штаммов почвенных бактерий, способных утилизировать токсичные органические соединения в качестве единственных источников углерода и энергии и оценка перспектив их использования для биоремедиации загрязненных поллютантами почв.

Бактерии-деструкторы выделяли из почвенных и ризосферных образцов, отобранных в «чистых» и загрязненных нефтепродуктами сайтов Московской, Саратовской обл. (Россия) и Казахстана. На первом этапе работы методом накопительных культур в присутствии бензоата натрия было выделено более 30 штаммов бактерий. Далее отобранные культуры проверяли на способность утилизировать различные ароматические, алифатические и хлорсодержащие соединения, которые добавляли в минеральную среду в качестве единственного источника углерода и энергии в концентрации: нафталин, ε-капролактам – 1.0 г/л; салицилат, гентизат, протокатехоат, о-фталат, 2-гидроксикоричная кислота, пирокатехин, фенол, бензоат, хлорбензоаты (2-, 3-, 4-хлорбензоат, 3,5-дихлорбензоат), 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислота – 0.2 г/л; хлорфенолы (2-, 3-хлорфенол, 2,3-, 2,4-, 2,5-, 2,6-, 3,4-дихлорфенол, 2,3,4-, 2,4,5-, 2,4,6-трихлорфенол, пентахлорфенол) – 0.1 г/л.

Изучение ростовых характеристик выделенных бактерий показало, что наиболее легкодоступными для них были такие субстраты, как: бензойная кислота, фенол и н-алканы (количество атомов углерода C6–C16) – более половины тестированных штаммов росли на этих соединениях. Значительно меньшее количество изолятов утилизировали бензол и его производные – толуол и этилбензол, а также хлорсодержащие фенолы и бензоаты. Наиболее активные бактерии-деструкторы Fch 5 и Fg 1 были способны разлагать более 15 индивидуальных субстратов, в том числе такие токсичные соединения, как 2-, 3-, 5-хлорфенол, 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислота, 2,4-, 2,5-, 2,6-дихлорфенол, 2,4,6-трихлорфенол, этилбензол и пентахлорфенол. Важно отметить, что оба штамма были выделены из ризосферы растений, причем Fch 5 – из ризосферы растений, растущих на «чистой» почве. Идентификация штаммов на основе анализа гена 16S рРНК показала, что они относятся к филогенетически удаленным группам бактерий и являются представителями родов *Stenotrophomonas* (Fch 5) и *Lysinibacillus* (Fg 1).

Изоляты Fch7, Fch8 (относятся к роду *Stenotrophomonas*), 7B (*Rhodococcus*), 13BN (*Pseudomonas*) и 8BN (*Isophtericola*) являются активными деструкторами фенола и способны к его деградации в концентрации не менее 500 мг/л. Помимо фенола, штамм *Rhodococcus* sp. 7B утилизует н-алканы, е-капролактam, нефть и дизельное топливо.

С применением биохимических тест-систем у штамма-деструктора фенола *Isophtericola* sp. 8BN была выявлена активность фермента β-галактозидазы, а также способность утилизировать ди- и трисахариды, крахмал и N-ацетилглюкозамин – основной компонент бактериальной клеточной стенки. Поскольку представителям этого рода свойственно разлагать целлюлозу, была изучена способность штамма разлагать микрокристаллическую целлюлозу и солому, и получены положительные результаты.

Таким образом, в результате проведенной работы выделены новые бактерии-деструкторы, способные к деградации целого ряда токсичных органических соединений. Широкий спектр утилизируемых штаммами субстратов является основой для создания биопрепаратов, перспективных для биоремедиации почв, подвергшийся воздействию тех или иных токсичных поллютантов.

Литература

1. Sharma J.K., Gautam R.K., Nanekar S.V. Weber R. Singh B.K., Singh S.K. Juwarkar A.A. Advances and perspective in bioremediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soils. Environ Sci Pollut Res, 2017, DOI 10.1007/s11356-017-8995-4.

ФАКТОРЫ, РЕГУЛИРУЮЩИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА И ДЫХАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА

В.В. Каганов*, О.В. Лопес де Гереню, А.Н. Кузнецов***,
Нгуен Ван Тхинь*****

**Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, Москва, saganss@rambler.ru*

***Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
Российской академии наук обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН,
г. Пушкино, vlopes@mail.ru*

****Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский
и технологический центр; Ханой, Хошимин, Вьетнам,
forestkuz@mail.ru, thinh39b@gmail.com*

Оценка емкости пулов углерода (С) и направленности его потоков в экосистемах являются основой для понимания современной экологической роли тропических лесов и формирования прогнозов их дальнейшего развития в свете современных изменений климата на планете. Поскольку именно древесная растительность является эдифицирующей и обладает наибольшим средообразующим потенциалом, важнейшим резервуаром углерода в лесных экосистемах является пул фитомассы деревьев. Из него в дальнейшем формируются пулы мертвой древесины (сухостой и валеж) и пул лесной подстилки. Видовой состав и состояние древостоя определяют объем и качество органического вещества, поступающего в почву и являющегося ключевым фактором формирования потока углерода с ее поверхности. Основной целью исследования было определение запасов С в ключевых пулах лесных экосистем на территории национальных парков Бу Зя Мап и Йок Дон (южный Вьетнам), а также выявление факторов, влияющих на формирование потоков углерода с поверхности почвы. Для определения запасов стволовой древесины был использован метод ключевых участков, на которых были организованы постоянные пробные площади, выполнен сплошной пересчет деревьев, проведен учет мертвой древесины и сбор лесной подстилки. Основой для определения запасов углерода в пуле фитомассы являются данные о запасе стволовой древесины, которые с использованием системы конверсионных коэффициентов были пересчитаны в запасы С. На территории национального парка Бу Зя Мап были организованы две пробные площади размером 50х25 м, расположенные на небольших плоских уступах в низкогорной местности. На первой из них запас стволовой древесины составил 352,7 м³/га, запас сухостоя составил 2,2 м³/га, на пробной площади определено 24 вида деревьев. На второй пробной площади запас составил 496,1 м³/га, сухостой на площадке отсутствует, определено 23 вида деревьев.

Среднее количество сезонного листового опада составляет 806 ± 64 г/м² и 904 ± 60 г/м² соответственно. На территории национального парка Йок Дон, в условиях плато с диапазоном высот 200–230 м были организованы 2 постоянные пробные площади размером 50х25 м. Запас стволовой древесины составил 120 м³/га и 58 м³/га, представляя собой «плюсовой» и «минусовой» варианты развития древесной растительности. Запасы сухостоя составили 5,2 м³/га и 1,3 м³/га соответственно. Еще одна площадка аналогичного размера была создана на берегу сезонного водотока, запас стволовой древесины на ней составил 301 м³/га, сухостоя 3,1 м³/га. Более сложной в условиях национального парка Йок Дон является оценка объемов поступающего листового опада. Это связано с тем, что по мере накопления пирогенного материала, в национальном парке проводится его периодическое контролируемое сжигание, что способствует поступлению в почву зольных элементов и является дополнительным фактором, оказывающим влияние на формирование потока углерода с ее поверхности. Таким образом, показано, что тропические леса южного Вьетнама являются сложными биологическими системами, с высокой степенью неоднородности по запасам углерода, что обусловлено сложностью местообитаний (горная местность) и большим видовым разнообразием древесных видов-эпифитов. Все эти факторы, в свою очередь, оказывают влияние на распределение влаги, тепла и органического вещества по поверхности почв, что сказывается на формировании потока углерода с ее поверхности.

УДК: 631.48

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫВЕТРИВАНИЯ КАШТАНОВЫХ И БУРЫХ ПОЛУПУСТЫННЫХ ПОЧВ РУССКОЙ РАВНИНЫ²⁵

П.И. Калинин, И.Ю. Кудреватых, В.В. Малышев, А. О. Алексеев

*ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцино,
kalinin331@rambler.ru*

Климат является одним из основных факторов, определяющих поведение химических элементов в почве. Эта предпосылка делает химический состав важным архивом палеогеографических условий прошлого (Gallagher, Sheldon, 2013). Химический состав почв значительно варьирует даже на коротких временных интервалах, насчитывающих сотни лет. Эти изменения коррелируют с различными климатическими параметрами, такими как средняя годовая температура и осадки, аридность климата (Калинин и др., 2009). Одними из наиболее часто используемых палеоклиматических

²⁵ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 18-05-00869а, 18-04-00800а.

показателей являются так называемые коэффициенты выветривания. К ним относится химический индекс преобразования (Chemical Index of Alteration) $CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + CaO * + K_2O) \times 100$ (где $CaO *$ – силикатный Ca), ((Nesbitt, Young 1982), который используется в качестве показателя степени выветривания полевых шпатов и их гидратации с образованием глинистых минералов.

Целью данного исследования являлось определение геохимических особенностей выветривания каштановых и бурых полупустынных почв, сформированных на лёссах, лёссовидных суглинках и морских отложениях. Для этого была исследована почвенная трансекта протяженностью более 1400 км на территории юго-востока Русской равнины. В почвенно – географическом отношении район исследований расположен в зоне сухих и пустынных степей с зональным типом каштановых и бурых полупустынных почв и приурочен к различным природным районам Нижнего Поволжья (Приволжская, Ергенинская возвышенности, Прикаспийская низменность).

Средние значения показателя CIA в верхних 20 см изученных почв изменяется незначительно: от 73 в бурых полупустынных до 75 в каштановых. Такие значения соответствуют умеренно преобразованным в процессе выветривания отложениям, значительно обогащенным глинистыми минералами (Nesbitt and Young 1982). Если сравнивать значения CIA в почвообразующих породах, то здесь они идентичны и равны 71. Это говорит об одинаковой степени разрушения материнских пород процессами выветривания до начала формирования современных почв в голоцене.

Полученные данные говорят о том, что интенсивность процессов химического выветривания в почвах сухостепной зоны достаточно низка. Щелочная среда не только препятствует разрушению первичных минералов под действием процесса гидролиза, но и затрудняет миграцию химических элементов в ионной форме. Только в верхних горизонтах почв, отмытых от солей и карбонатов, в обстановке более низких значений pH, способны создаваться условия для химического выветривания. Однако зарегистрировать потери щелочных химических элементов из силикатных минералов с помощью геохимических коэффициентов выветривания достаточно трудно вследствие того, что педогенные процессы (карбонатизация, засоление, иллитизация и лессиваж) маскируют процесс гидролиза.

При формировании лёссовидных суглинков значительная доля неустойчивых в поверхностных условиях плагиоклазов были разрушены на ранних этапах седиментогенеза. Как следствие, за миграцию Ca, Na и Mg по большей части отвечают соли, карбонаты и глины, в большом количестве присутствующие в этих породах. Значительная доля этих минералов является продуктом плейстоценового осадконакопления и почвообразования. Поэтому показатель CIA в изученных почвах отражает интегрированную историю выветривания лёссовых отложений на всем протяжении процесса их формирования. В связи с этим к использованию его в качестве коли-

чественного показателя оценки голоценового химического выветривания стоит подходить с осторожностью. Значения CIA в каштановых и бурых полупустынных почвах только частично отражают процесс выветривания первичных минералов и определяются совокупным влиянием атмосферных осадков на соотношение глинистых минералов с солями и карбонатами и во многом зависят от состава и свойств почвообразующей породы.

Литература

- Калинин П.И., Алексеев А.О., Савко А.Д. Лёссы, палеопочвы и палеогеография квартера юго-востока Русской равнины—Воронеж: Воронежский государственный университет, 2009. 139 с.
- Gallagher T, Sheldon N. A New Paleothermometer for Forest Paleosols and its Implications for Cenozoic Climate. *Geology* 41(6):647-650. 2013. DOI: 10.1130/G34074.1
- Nessbit H. W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. V. 299. P. 715–717.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ПАСТБИЩНОЙ НАГРУЗКИ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПУСТЫННО-СТЕПНЫХ ПОЧВ РАЗЛИЧНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Н.Н. Каширская*, А.В. Потапова*, Е.В. Дубовик,
Е.А. Лягузина****

**ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Путино, nkashirskaya81@gmail.com*

***Воронежский государственный университет, zhenya2708486@gmail.com*

Антропогенное опустынивание засушливых регионов, считается одной из глобальных экологических проблем, переживаемых человечеством в настоящее время. Эколого-почвенное исследование этих территорий с целью защиты земель от деградации выходит за рамки региональных задач. Оно актуально как неразрывная часть международных научных усилий по преодолению угрозы аридизации суши [1–3]. К наиболее агрессивным факторам в процессе деградации пастбищных угодий, относится перевыпас скота. В данной работе представлены результаты исследования биологической активности почв сухостепной зоны в зависимости от гранулометрического состава и интенсивности пастбищной нагрузки. Оценку фосфатазной активности почв проводили методом Галстяна – Арутюнян [4], уреазной активности – индофенольным методом [5].

Среди пастбищных почв, подверженных интенсивному выпасу, но сохранивших верхний горизонт, на терско-кумских песках присутствовали как солонцы, так и каштановые почвы, а на майкопских глинах были обнаружены

только солонцы. В профиле песчаной каштановой почвы с эпизодическим выпасом скота уреазная активность верхнего слоя составляла 230 мкг NH_4 / г час (рис. 1). В верхней половине профиля она снижалась до 50, а в нижней половине – до 20 мкг NH_4 / г час. На майкопских глинах аналогичная каштановая почва характеризовалась в 2.2 раза более высокой уреазной активностью верхнего горизонта. Интенсивный выпас привел к заметному ее снижению – в 1.5 раза – как на песках, так и на глинах. В нарушенных почвах со сбитым верхним горизонтом дальнейшее снижение уреазной активности не происходило: на глинах она оставалась такой же, как в почве с интенсивным выпасом, а на песках – увеличивалась на 20–30%.

Динамика фосфатазной активности в пастбищных почвах Дагестана представлена на рис. 2. В профиле песчаной каштановой почвы с эпизодическим выпасом скота фосфатазная активность верхнего слоя составляла 86 мкг P_2O_5 / г час. В следующем слое она снижалась более чем в 25 раз; далее, уменьшаясь с глубиной, варьировала от 0.3 до 2.6 мкг P_2O_5 / г час. В каштановой почве на майкопских глинах фосфатазная активность верхнего слоя была

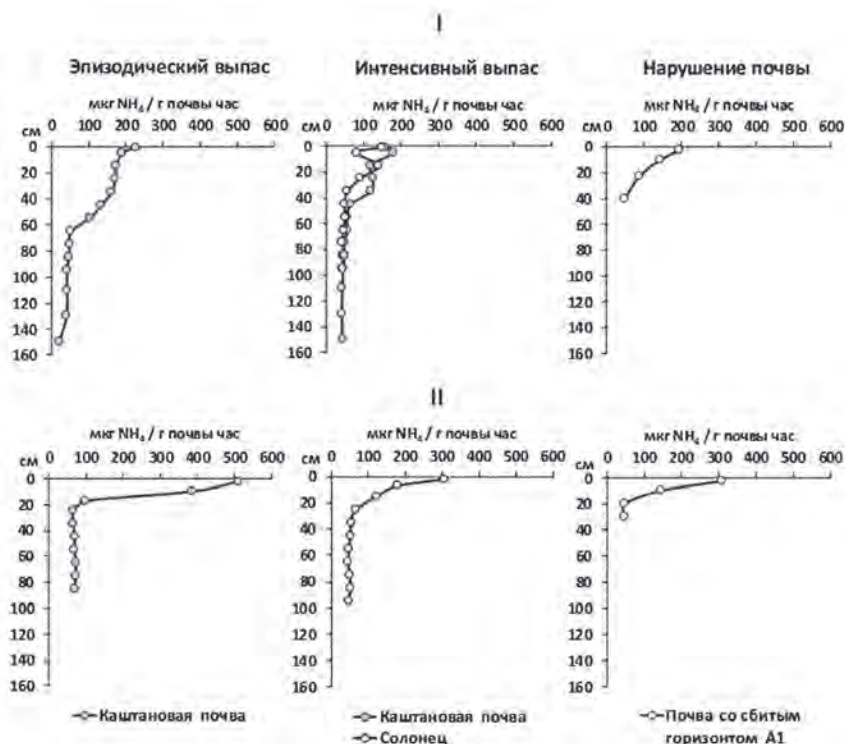


Рис. 1. Уреазная активность пастбищных почв Дагестана: I – почвы, сформированные на кумско-теркских песках; II – почвы, сформированные на майкопских глинах.

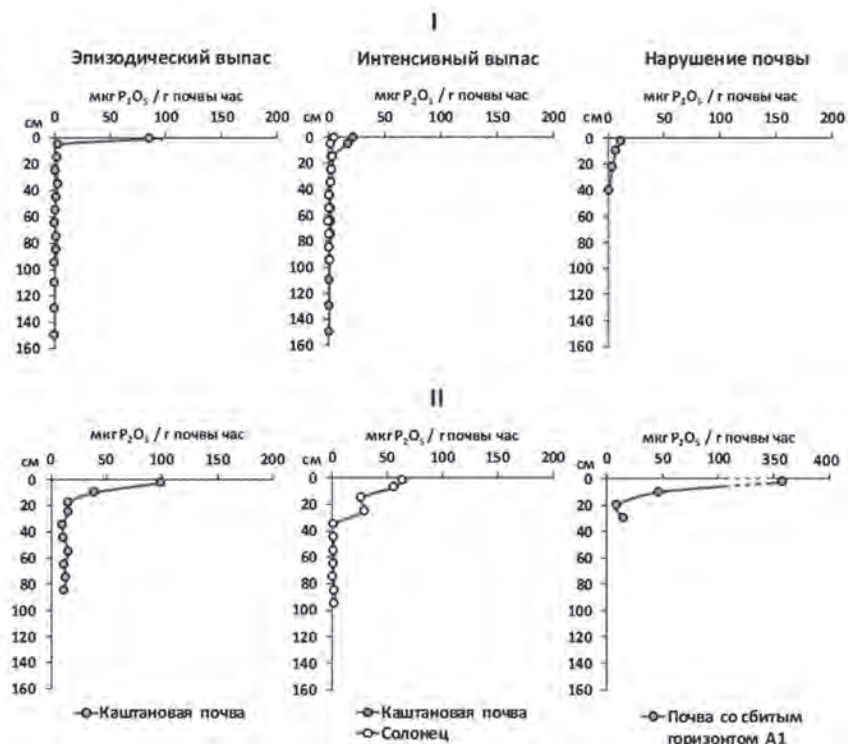


Рис. 2. Фосфатазная активность пастбищных почв Дагестана: I – почвы, сформированные на кумско-терских песках; II – почвы, сформированные на майкопских глинах.

на 15% выше, чем в каштановой почве на песках, а в нижележащих слоях в 3–15 раз выше. Интенсивный выпас привел к существенному снижению фосфатазной активности в верхнем слое песчаных почв: в каштановой почве она снизилась в 4 раза, а в солонце – в 18 раз относительно контрольной почвы с эпизодическим выпасом. В солонце, сформированном на глинах, аналогичное снижение фосфатазной активности при интенсивном выпасе составило 1.5 раза. Кроме того, здесь была отмечена сравнительно высокая фосфатазная активность на глубине 15–25 см. В почве со сбитым верхним горизонтом на песках фосфатазная активность верхнего слоя была сравнима с таковой в ненарушенных почвах, используемых для интенсивного выпаса. В глинистой почве нарушение привело к резкому возрастанию фосфатазной активности в верхнем слое – до 350 мкг P_2O_5 / (г час). По-видимому, увеличение фосфатазной активности в данном случае связано с изменениями в структуре микробного сообщества после экспонирования иллювиального горизонта на поверхность.

Литература

1. Геннадиев А.Н. Эволюция почв прибрежной зоны при быстром изменении уровня Каспийского моря // Почвоведение / А.Н. Геннадиев, Н.С. Касимов и др. 1998. № 9. – С. 1029–1037.
2. Добровольский Г.В. Роль и значение становления и эволюции жизни на Земле // Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия. / Г.В. Добровольский – М.: 2011. – С. 7–16.
3. Залибеков З.Г. Новые аспекты проблемы борьбы с опустыниванием в регионах Прикаспийской низменности // Аридные экосистемы. 1996. № 2. – С. 18–26.
4. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. / Ф.Х. Хазиев – М.: Наука. 2005. – 252 с.
5. Kandeler E. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium // Biology and fertility of soils. 1988. V. 6. №1. / E. Kandeler, H. Gerber – P. 68-72.

УДК: 631.48

ПОЧВЕННО-АРХЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ КУЛЬТУРНЫХ СЛОЕВ ЭПОХИ БРОНЗЫ ЗАПАДНОСИБИРСКОГО ПРИПОЛЯРЬЯ²⁶

Р.А. Колесников*, О. С. Тупахина*, Л.Н. Плеханова**

**Научный центр изучения Арктики, Салехард*

***Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пуццоно, E-mail: dianthus1@rambler.ru*

Поселенческие памятники, наряду с решением вопросов генезиса почв, могут быть использованы при рассмотрении распределения артефактов в почвенной толще, интеграции культурного слоя в природную среду, роста природно-антропогенных наносов, и, в конечном счете, при индикации антропогенных воздействий на окружающую среду.

Почвоведов интересуют вопросы химизма культурных слоев, их образования, и конечно, возможности использования «датированных» археологическими находками субстратов для решения вопросов генезиса почв. Утвердилось представление о том, что в профиле полноразвитых почв датированные культурные слои выступают в роли хронологических реперов, то есть вышележащие почвенные горизонты могут быть моложе этой даты. Такие реперы позволяют обоснованно судить о факторе времени в эволюции почв на таких сложных объектах как поселения [1,2], или их окрестности [3]. Изучение биологической памяти почв приводит к результатам при оценке

²⁶ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 19-49-890003 p_a: «Реконструкция палеоэкологических условий проживания древних коллективов эпохи энеолита и бронзы Севера Западной Сибири», с использованием ресурсов центра коллективного пользования (ЦКП) ИФХиБПП ФИЦ ПНЦБИ РАН.

активности отдельных почвенных ферментов [4,5], при оценке пищи в древних сосудах [6], позволяет идентифицировать прослой шерстяных субстратов памятников [7], и при оценке биогенных минералов, в частности, содержащих фосфаты как основной индикатор древних поселений [8].

Для культурных слоев характерна неоднородность, подщелачивание, обогащение гумусом и фосфором. Культурные слои фиксируют древнюю поверхность, поэтому наибольшие изменения претерпевают верхние горизонты почв: преобразуется структура, увеличивается плотность, уменьшается порозность, меняется водный и воздушный режимы. Слой древних поселений неоднороден и в пространственном распределении по поселению. Во время бытования поселения слой обогащается органическим веществом и фосфатами разных форм, включая биогенные, минеральные и валовые. Отличием культурных слоев от вторых гумусовых горизонтов, характерных для многих регионов, является наличие артефактов в слое, а также происхождение второго гумусового горизонта, как реликта лугово-болотного почвообразования, в связи с улучшением дренаемости территории, например, для таежной подзоны Западной Сибири [9].

При минерализации поступившего в почву органического вещества фосфор закрепляется в виде трудно растворимых фосфатов кальция, сохраняющихся тысячи лет. Формируются аномальные зоны концентрации этого элемента, идентифицируемые как зоны древних нарушений, сохранившиеся до настоящего времени [10,11]. В пределах площади древних поселений отмечены значительные колебания содержания фосфатов в почве, что объясняется неоднородностью заселения отдельных частей поселений. Применение фосфатного метода в археологических полевых работах для уточнения деталей раскопок [12] позволяет значительно сократить объем разведывательных работ, почвы укрепленных поселений с превышениями по фосфатам на примере Зауралья в пионерных работах стали объектом Красной книги почв России [13] и эталонами сравнения при ведении современного биомониторинга [14]. При сравнении с фоном повышенные в 3 раза фосфаты отмечены на памятниках Западной Сибири [15].

Поселение Ямгорт-I расположено в Ямало-Ненецком автономном округе, на террасе реки Сыня, сложенной песчаными и супесчаными отложениями. В районе исследования под редкостойными хвойными и смешанными лесами с кустарничковым подлеском формируются подзолы иллювиально-железистые. Они образуют сочетания и мозаики с подбурями иллювиально-гумусовыми. В квадрате Б-8 поселения нами отмечено три углеродных максимума: верхний связан с вымыванием гумуса и железа, а два нижних (по полтора процента углерода – как в верхних горизонтах современных дневных почв) – явные свидетельства двух этапов хозяйствования на территории и чуть ниже каждого из них – два максимума содержания фосфатов (до 25 мг-экв на 100 г почвы), что связано с двумя этапами формирования культурного слоя. Во всех разрезах зафиксировано вымывание полуторных оксидов железа, что

свидетельствует о процессах элювиирования-иллювиирования. Почвы поселения Ямгорт представляют собой редкий изучаемый образец формирования древних палеоурбаноземов эпохи бронзы северных точек природной зоны подзолов, достойный внесения в Красную Книгу почв России.

Литература

1. Плеханова Л.Н., Ткачев В.В. Физико-химические свойства почв многослойного поселения эпохи бронзы в окрестностях г. Гай // Поволжская археология. 2013. № 4(6). С. 225-234.
2. Kashirskaia N.N., Chernysheva E.V., Plekhanova L.N., Borisov A.V. Thermophilic microorganisms as an indicator of soil microbiological contamination in antiquity and at the present time. / Intern. multidisciplinary scientific GeoConference-SGEM. 2019. Vol.19. № 3.2. P. 569-574.
3. Плеханова Л.Н. Антропогенная деградация почв речных террас Волго-Уральского региона в эпоху бронзы и ее влияние на современный почвенно-растительный покров// Аридные экосистемы. 2019, Вып. 25, No. 3(80), pp. 53–59.
4. Plekhanova L.N. Cellulase activity in anthropogenically disturbed chernozems/ Intern. multidisciplinary scientific GeoConference- SGEM, 2018. Volume 18. Issue 5.2. P. 173-179.
5. Каширская Н. Н., Плеханова Л. Н., Чернышева Е. В., Ельцов М. В., Удальцов С. Н., Борисов А.В. Пространственно-временные особенности фосфатазной активности естественных и антропогенно-преобразованных почв // Почвоведение. 2020. № 1. С. 89-101.
6. Борисов А.В., Демкина Т.С., Ельцов М.В., Ганчак Т.В., Девяткин А.Н., Плеханова Л.Н., Демкин В.А. Вода в погребальном обряде культур бронзового и раннежелезного веков нижнего Поволжья// В сборнике: Степи Северной Евразии Материалы IV Международного симпозиума. Институт степи УрО РАН; Под редакцией: Чибилёва А.А. 2006. С. 131-134
7. Каширская Н.Н., Плеханова Л.Н., Петросян А.А., Потапова А.В., Сыроватко А.С., Клещенко А.А., Борисов А.В. Подходы к выявлению шерсти по численности кератинолитических микроорганизмов в грунтах древних и средневековых погребений.// Нижневолжский археологический вестник. 2018. Т. 17 № 2, С. 95-107.
8. Рянская А.Д., Киселева Д.В., Косинцев П.А., Бачура О.П., Гусев А.В. Рентгеноструктурный анализ биогенного апатита (на примере археологических скелетных остатков северного оленя из местонахождения Усть-Полуй, Салехард) //Металлогения древних и современных океанов. 2020. № 1. С. 273-276.
9. Гаврилов Д.А., Гольева А.А. Микробиоморфное исследование почв со вторым гумусовым горизонтом южно-таежной подзоны Западной Сибири // Вестник ТомГУ. Биология. 2014. № 2 (26). С. 5-22
10. Зданович Г.Б., Иванов И.В., Плеханова Л.Н. Музей-заповедник «Аркаим» в Стране Городов // Природа. 2001. № 9 (1031). С. 50-58
11. Плеханова Л.Н. Почвы Зауралья в древности и теперь // Природа. 2003. № 12 (1060). С. 48-52.
12. Борисов А.В., Бухонов А.В., Гак Е.И., Плеханова Л.Н. Инфраструктура каткомбного поселения Рыкань-3 в свете междисциплинарных исследований // В сб.: Археология Восточно-Европейской степи Матер. IV Нижневолжской междунар. археол. конф. 2013. С. 66-74.

13. Плеханова Л.Н. Проблемы поиска эталонных почв степного Зауралья для создания Красной книги почв // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. № 3 (72). С. 50-58.
14. Плеханова Л.Н., Иванов И.В., Ермолаев А.М. Некоторые результаты биомониторинга почв заповедника Аркаим Челябинской области // В сб.: Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии в адаптивном земледелии. Сборник научных трудов. Под ред. чл.-корр. РАСХН А.В. Вражнова, к.с.-х. н. Ю.Д. Кушниренко. Челябинск, 2003. С. 237-253
15. Коркина И.Н. Почвы археологических памятников как антропогенно-природные образования (на примере памятников таежно-лесной зоны Западной Сибири) // Современные проблемы популяционной, исторической и прикладной экологии. Вып.2. Матер. конф. мол. уч. Ек-г. 2001. С. 112-120.

УДК 631.41

СОСТАВ ЖИДКОЙ И ТВЕРДОЙ ФАЗ ЧЕРНОЗЕМОВ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОТВАЛОВ ПОДМОСКОВНОГО БУРОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

А.С. Костин, П.П. Кречетов, О.В. Черницова

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва,
alexanderk640@gmail.com*

Угледобыча на территории Подмосковского бассейна привела к трансформации почв и окружающих ландшафтов. Разработка угольных месторождений велась шахтным способом, при котором на дневной поверхности формируются отвалы вскрышных пород конической формы. Грунтосмеси отвалов имеют неоднородный супесчано-суглинистый состав и содержат примеси серы в форме сульфидов железа (пирита) и углерода (до 20%) в виде угля [2]. Карбонатные включения в породах отвалов представлены кальцитом и сидеритом. При окислении с участием микробиоты восстановленных сульфидов железа в отвалах образуются токсичные для высших растений серная кислота и сульфаты железа. Кислотный гидролиз алюмосиликатов в отвалах под воздействием серной кислоты способствует образованию токсичных сульфатов алюминия [3]. Гранулометрический состав и сложение пород в отвалах способствуют их эрозионному разрушению, вследствие чего образуются техногенные наносы (мощностью до 100 см), сложенные супесчано-суглинистым материалом с обилием включений угля, обломков силикатных пород и зерен пирита. Также, существенным фактором трансформации почв при угледобыче являются изменения рельефа в виде просадок, возникающих над шахтным пространством и провалами выработанных штолен.

Целью работы являлась оценка влияния эрозионных шлейфов от отвалов и шахтных просадок на состав обменных катионов и жидкой фазы

(почвенного раствора) черноземов лесостепи. Были исследованы почвы в зоне влияния отвала шахты «Киреевская» в Тульской области. Естественная растительность сведена, основную часть составляют агроценозы с посевами зерновых. Фон почвенного покрова на междуречьях и пологих склонах составляют сочетания агрочерноземов глинисто-иллювиальных выщелоченных и оподзоленных, среднемощных, тяжелосуглинистых, на карбонатных лессовидных суглинках [4].

Были исследованы пробы почв, техногенных наносов и почвенных растворов. Почвенные растворы были выделены спиртом из свежих образцов почв и вскрышных пород (методом Ищерекова в модификации Комаровой) [1]. Измерение pH и легкорастворимых солей в почвенных растворах, а также обменных катионов (в 1М KCl вытяжке после вытеснения почвенных растворов) и углерода органических веществ проводили общепринятыми методами. Водорастворимые и обменные формы Fe^{2+} и Fe^{3+} определяли спектрофотометрическим методом с α - α -дипиридилем [5]. Содержание карбонатов – на кальциметре.

Агрочерноземы выщелоченные и оподзоленные на фоновых участках характеризуются средним содержанием органического углерода (3–4%). Реакция почвенного раствора изменяется от слабокислой и нейтральной (pH = 5,6–6,6) в пахотном гор. АУра до щелочной (pH=8,2) в карбонатном гор. ВСА. Жидкая фаза черноземов характеризуется низким содержанием солей HCO_3^- -Са состава. Отмечается незначительное увеличение содержания сульфатов в нижней части профиля, что обусловлено, видимо, близким залеганием к поверхности сульфидсодержащих пород угленосного яруса. Поглощающий комплекс почв (ППК) представлен обменными Ca^{2+} и Mg^{2+} (ЕКО = 20–27 ммоль(+)/100 г почвы). Миграционные формы карбонатов морфологически выделяются в черноземах выщелоченных с глубины 90–110 см, где их содержание возрастает до 9,3%. Журавчики обнаруживаются на глубине 100–120 см. В оподзоленных черноземах карбонаты вымыты на большую глубину: редкие прожилки отмечаются с глубины 150 см, и содержание карбонатов не превышает 0,1%.

Техногенные эрозионные наносы характеризуются сильнокислой реакцией (pH = 3,7–3,9) и высоким содержанием обменного Al^{3+} (до 13 ммоль (+)/100 г породы). В жидких фазах, выделенных из техногенного материала, выявлено высокое содержание SO_4^{2-} (до 7,9 ммоль (-)/ dm^3) и Ca^{2+} (до 5 ммоль (+)/ dm^3). Кислотность жидкой фазы породного материала обусловлена в основном Al^{3+} (до 4,6 ммоль (+)/ dm^3).

Черноземы, перекрытые наносом, приобретают специфические черты, не свойственные фоновым почвам. Реакция почвенного раствора становится кислой и нейтральной (pH = 3,7–6,6). Ионный состав жидкой фазы перекрытых почв меняется на кислый сульфатно-кальциевый и сульфатно-алюмо-кальциевый (в подотвальной части шлейфа). В поровом пространстве почв отмечаются обилие включений угля, формирующих глинисто-углистые

кутаны, стяжения гидроксидов Fe и сизоватые пятна. Протонирование поверхностей почвенных частиц приводит к изменению структуры почв (замещению комковатых агрегатов глыбистыми). Кислотность жидких фаз достигает 13,4 ммоль(+)/дм³, содержание органического углерода – 8,5%. В условиях сернокислого гидролиза карбонаты выщелачиваются за пределы почвенного профиля. В результате реакций ионного обмена в ППК происходит замещение Ca²⁺ и Mg²⁺ на определяющие обменную кислотность H⁺, Al³⁺. Степень ненасыщенности ППК основаниями 50% и более. Содержание Ca²⁺ и Mg²⁺ в ППК уменьшается в 2,5-7 раз (до 3,1 и 1,1 ммоль (+)/100 г почвы, соответственно), а сумма Al³⁺ и H⁺ превышает 13 ммоль (+)/100 г почвы. В ППК появляется Fe²⁺ и Fe³⁺. В перекрытом техногенным наносом гор. AU_(cs) черноземов в сухие годы отмечают стяжения гипса в форме пятен и точек.

Можно предположить несколько механизмов образования вторичного гипса: 1) в ходе реакций ионного обмена Ca²⁺ ППК на H⁺ сернокислых фильтрационных вод; 2) путем поступления обогащенных Ca²⁺ и SO₄²⁻ фильтрационных вод от отвалов и выпадения гипса из растворов в почвах; 3) как продукта реакции растворения карбонатных новообразований в почвах с сернокислыми водами (механизм реализуется в черноземах выщелоченных).

Оценка степени насыщения почвенных растворов горизонтов черноземов, перекрытых техногенными наносами, по труднорастворимым соединениям (гипсу, гидрооксидам железа и алюминия) показала, что они слабо пересыщены и близки к насыщению по CaSO₄ и Fe(OH)₂ (1,7–13,5 раз), и сильно пересыщены по Al(OH)₃. В черноземах, приуроченных к просадкам, в условиях дополнительного бокового внутрипочвенного стока при выпадении атмосферных осадков, незначительно уменьшается содержания Ca²⁺, Mg²⁺ и HCO₃⁻ в составе жидкой фазы и Ca²⁺ и Mg²⁺ в ППК, преимущественно в верхней части почвенного профиля. Граница вскипания карбонатов от HCl в черноземах выщелоченных опускается на 20–30 см, где содержание карбонатов уменьшается на 2–3%, по сравнению с черноземами на автономных позициях. Карбонатные конкреции встречаются под зоной миграционных Са-новообразований (прожилков) и отличаются большим размером и обилием, что может указывать на перекристаллизацию карбонатных солей в почвах.

Литература

1. Быстрицкая Т.Л., Волкова В.В., Снакин В.В. Почвенные растворы черноземов и серых лесных почв. М: Наука, 1981. – 148 с.
2. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР: В 12 т. М., 1962. Т. 2. Подмосковский бассейн и другие месторождения угля Центральных и Восточных областей Европейской части РСФСР. 570 с.
3. Зонн С.В., Травлев А.П. Алюминий. Роль в почвообразовании и влияние на растения. Изд. ДГУ, Днепропетровск, 1992. 224 с.
4. Ратников А.И. Почвы верховьев Оки и Дона. Тула: Тульское книжное изд-во, 1963. 160 с.

5. Тарарина Л.Ф. Зависимость между кислотностью и содержанием токсичных элементов во вскрышных породах Подмосковского угольного бассейна //Почвоведение, 1977. №5. С. 151-154.

УДК: 631.1+631.4+631.95

ПОЧВА В ГЛОБАЛЬНОЙ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ

**П.В. Красильников, В.А. Романенков, А.А. Контобойцева,
А.С. Сорокин**

*Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва,
krasilnikov@soil.msu.ru*

Продовольственные системы обеспечивают в настоящее время в мире существование более семи миллиардов человек. Более половины населения нашей планеты является частью продовольственных систем, участвуя либо в производстве сельскохозяйственного сырья, либо в его переработке, либо в хранении, транспортировке и продаже. Плодородные почвы являются необходимым компонентом продовольственных систем, поскольку на них базируется растениеводство и кормовая база животноводства [1].

Поддержание здоровья и высокой производительности почв обеспечивает устойчивое производство сельскохозяйственного сырья; именно поэтому компенсация выноса биогенных элементов является важнейшим условием устойчивой интенсификации аграрного сектора. Здоровье почв определяет уровень пищевой безопасности, и потому имеет значение для конечного потребителя. Загрязнение почв тяжелыми металлами и радионуклидами, пестицидами и прочими органическими загрязнителями оказывает влияние на качество продовольствия, иногда делая его непригодным для употребления. В последние десятилетия появляются и новые загрязнители почв, среди которых выделяются как вещества небиологической природы (промышленный микропластик, наночастицы разнообразного состава), так и биологически активные вещества (антибиотики, ферменты). Возрастающее внимание уделяется санитарному состоянию почв, развитию в них потенциально патогенных микроорганизмов. Поэтому здоровье почв является важнейшим компонентом безопасности функционирования продовольственных систем.

Географическое распространение почв на земной поверхности в значительной степени определяет важнейшие зоны производства сельскохозяйственного сырья, поскольку почвы являются третьим по важности фактором, ограничивающим рост культурных растений после тепла и влаги; при этом почвы отражают и первые два фактора. Исходно в аграрной человеческой цивилизации основные потребители продовольствия находились рядом с областями производства последнего. Однако в Антропоцене ситуация меняется: потребитель в крупных

городах оказывается все более удален от источника продовольственного сырья. Средняя дистанция, которую преодолевают продукты питания от места производства до крупнейших мегаполисов мира, оказывается в ряде случаев равна сотням, а иногда и тысячам километров. Неравномерность распределения почв на планете определяет увеличение затрат на транспортировку и увеличение углеродного следа продовольственных систем.

Считается, что экологический след продовольственных систем огромен, при этом самая большая его часть связана с аграрным сектором, который ответственен за деградацию огромных территорий и выделение в атмосферу парниковых газов, связанных с минерализацией органического вещества почв и органических удобрений, а также с животноводством. Пристальное внимание к почвам как к ключевому компоненту продовольственных систем, ответственному за баланс углерода, отразилось в последних инициативах Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) [2]. В первую очередь, речь идет о программе «4 промилле», предложенная в 2015 году в Париже на 21-ей Конференции сторон (COP-21) Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК). Данная инициатива основана на том, что при правильном возделывании пахотные почвы планеты могут служить важнейшим стоком углерода, и увеличение запасов почвенного углерода в пахотном слое всего на 0,4% в год может в значительной степени компенсировать антропогенную эмиссию парниковых газов в атмосферу. Инициатива «4 промилле» приносит двойной выигрыш, поскольку увеличение запасов почвенного углерода сопровождается увеличением плодородия и здоровья почвы. Знаковым событием стало принятие в 2017 в Бонне на COP-23 РКИК решения начать «Совместную работу Коронивии по сельскому хозяйству», которая подразумевает, помимо управления циклом почвенного углерода, оптимизацию поступления парниковых газов в результате деятельности животноводства. В дальнейшем вопросы сохранения и накопления углерода в почвах, улучшения здоровья и плодородия почв пастбищ, пахотных земель и в смешанных системах сельскохозяйственного производства обсуждались на 51-ой Сессии вспомогательных органов РКИК в декабре 2019 года.

Поскольку другим источником парниковых газов в атмосферу являются потери и отходы продовольствия, почва может служить и стоком углерода для пищевых отходов, если организовано компостирование их остаточной фазы, не пошедшей на корм скоту и не переработанной на биотопливо. Таким образом, в почве могут замыкаться потоки углерода, циркулирующие в продовольственных системах.

Литература

1. Vermeulen S. J., Campbell B. M., Ingram J. S. I. Climate change and food systems // *Annual Review of Environment and Resources*. 2012. V. 37. P. 195-222.
2. Контобойцева А. А., Красильников П. В., Романенков В. А., Сорокин А. С. Управление углеродом // *Агробизнес*. 2020. № 4(63). С. 58-63.

ФОРМЫ АЗОТА В ПРИБРЕЖНЫХ ПОЧВАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ²⁷

О.С. Кубик, Е.В. Шамрикова, Е.В. Денева

*Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар,
kubik-olesia@yandex.ru*

Аккумуляция азота в почве является характерным признаком почвообразования, что подтверждает заключения исследователей тундровых экосистем о достаточно высоком содержании азота ($N_{\text{общ}}$), большая часть которого (до 95 %) сосредоточена в составе слабогумифицированного органического вещества почвы [1]. В рамках данной концепции практически не изученными остаются почвы окраинных прибрежно-морских территорий тундровой зоны. Почвенный покров здесь представлен как широко распространенными водораздельными тундровыми почвами, так и уникальными – маршевыми экосистемами [2].

Поэтому цель работы заключалась в выявлении особенностей распределения различных форм азота в прибрежных почвах Хайпудырской губы Баренцева моря. В качестве объектов исследования были выбраны следующие участки: I – марши низкого уровня (почва – маршевая примитивная гиттиевая иловато-легкосуглинистая (Tidalic Fluvisol (Loamic)), II – марши среднего уровня (почва – маршевая дерново-глеевая супесчаная (Tidalic Fluvisol (Arenic, Ochric)), III – марши среднего уровня (почва – маршевая примитивная дерново-глеевая тяжелосуглинистая (Tidalic Fluvisol (Loamic, Ochric)), IV – верхняя часть приморской террасы водораздела (почва – торфяная олиготрофная мерзлотная (Cryic Folic Histosol)), V – вершина водораздела (почва – торфяно-глеезем криогенно-ожелезненный мерзлотный (Histic Reductaquic Cryosol)). Содержание различных форм азота в исследуемых почв было определено на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН следующими методами: общий азот – газовой хроматографией, неорганического азота ($N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$) – фотометрией, азот органических соединений ($N_{\text{орг}}$) – по разности содержаний общих и неорганических форм элементов.

Основная часть азотного фонда всех исследованных почв представлена его органической формой (до 97% от общего его содержания). В маршевых почвах содержание азота не превышает 5 г/кг, в почвах водоразделов составляет 5–20 г/кг в пределах органогенных горизонтов, увеличиваясь с глубиной. В почвах участков I и III отмечено максимальное содержание органического азота в средней части профиля в гумусово-аккумулятивных горизонтах,

²⁷ Исследования выполнены в рамках проекта РФФИ № 20-04-00445а “Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экстремальных условий (на примере арктических экосистем)”.

погребенных современными морскими отложениями. В остальных случаях наблюдается преимущественное накопление азота на поверхности почв. В торфяной олиготрофной почве участка IV максимальное содержание $N_{\text{орг}}$ приходится на многолетнемерзлую толщу. В минеральной части торфяно-глеезема содержание азота в 20 раз меньше по сравнению с торфяными слоями, кроме того выражено его надмерзлотное накопление.

Отношение органических форм углерода и азота C/N в маршевых почвах варьирует в пределах от 10–18. Отношение C/N в поверхностных горизонтах тундровых почв составляет 30–95. Вниз по профилю данный показатель уменьшается, что, вероятно, вызвано постепенным обогащением слабо-разложившихся растительных остатков азотом в связи с неэквивалентным выделением углерод- и азотсодержащих газов, а также вымыванием растворимых органических соединений. К факторам, определяющим низкие значения C/N маршевых почв может относиться жизнедеятельность птиц, как дополнительного источника поступления азота в почву.

Содержание $N-NH_4^+$ в засоленных почвах колеблется от единиц до сотен мг/кг; в большинстве случаев диапазон значений составляет 4–20 мг/кг, уменьшаясь с глубиной. В органогенных горизонтах водораздельных почв этот показатель равен 40–200, в минеральных – менее 5 мг/кг. Накопление $N-NH_4^+$ связано с процессами аммонификации и действием орнитогенного фактора. В торфяно-глееземе участка V выявлена надмерзлотная аккумуляция азота как в органической, так и в аммиачной формах. Нитратный азот обнаружен лишь в поверхностных горизонтах маршевых почв в количестве 0.4–4.6 мг/кг.

Таким образом, азот исследуемых прибрежных почв Баренцева моря представлен в основном органической его формой (до 97 % от общего содержания). Минерализация органического вещества в почвах арктических побережий в основном ограничивается стадией аммонификации, нитрификация выражена слабо.

Литература

1. Маслов М.Н., Макаров М.И. Трансформация соединений азота в тундровых почвах Северной Фенноскандии // Почвоведение. 2016. № 7. С. 813–821.
2. Шляхов С.А., Костенков Н. М. Классификация и морфологические особенности почв равнинных морских побережий // Почвоведение. 1998. № 10. С. 1157–1163.

ВЛИЯНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ НА АККУМУЛЯЦИЮ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮГА РОССИИ²⁸

И.Ю. Кудреватых, П.И. Калинин, Л.С. Пильгуй

ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуццино

Почвы представляют собой особые природные тела с присущим им морфологическим строением, физическим и химическим составом, который формировался в природных условиях в течение миллионов лет. Деятельность растений является одним из определяющих факторов почвообразования, так как они служат основными поставщиками органического вещества и основой биологического круговорота элементов. Аккумуляция химических элементов в различных органах растений имеет свои особенности в пределах одного фитоценоза и зависит от физиологических свойств видов и геохимического состава почв [2, 3]. К геохимическим особенностям почв степной зоны относят образование в них растворимых комплексных соединений гидролизатов и увеличение подвижности анионогенных элементов и элементов-комплексобразователей, что повышает доступность для поглощения растений многих макро и микроэлементов [1]. Так же в условиях щелочной окислительной среды, в которых развиваются почвы сухостепной и пустынной зон, латеральная миграция в автономных ландшафтах практически отсутствует, а поглощение элементов растительностью является основной движущей силой радиальной геохимической миграции [1, 2].

Целью данного исследования была оценка миграции и аккумуляции химических элементов в системе «растение-почва» в условиях степных ландшафтов юга России. Изучали растительность и почву настоящих и опустыненных степей на юге Русской равнины, лежащих в пространстве от 50° до 46° с. ш. (n = 20). В напочвенном покрове степей встречались растения родов *Poaceae* Barnhart, *Artemisia* L., *Chenopodioidae*. Тип почв изменялся с севера на юг от темно-каштановых (Endosalic Kastanozems, Endosalic Calcisols) до бурых полупустынных (Luvic Calcisols). Полевые исследования включали отбор преобладающих видов растительности (площадки 50 см², 2 повторности) и почв (методом бурения с интервалом 10 см до почвообразующей породы, смешанная проба, 3 повтора). В полученных образцах растений и почвы измеряли концентрацию Zn, P, Fe, Mn, Cr, V, Ca, K, Al, S, Mg, Sr, Ba, Ti, Rb, Cl, Ni, Br методом рентген-флуоресцентного анализа. В почве дополнительно определяли гранулометрический состав (пирофосфатным методом), рН_{вод}

²⁸ Работа выполнена по теме Государственного задания № 0191–2019–048 и гранта РФФИ №18-05-00869А.

(потенциометрическим методом), содержание $\text{CO}_3\text{-Ca}$ (ацидиметрическим методом, ГОСТ 26484-85).

Выявлено, что химический состав растений в большей мере определяется видовой спецификой, которая определяется жизненной формой (однолетники или многолетники), их приспособительной реакции к условиям среды степных ландшафтов (засухоустойчивость, солетолерантность, снижение интенсивности транспирации), климатическими параметрами (температура и увлажнение) и химией почв. Более высокое закрепление Fe, Ti, Al, Cr, Mn, Ni, Ba выявлено в растениях рода *Poaceae Barnhart*, что объясняется их способностью поглощать элементы в катионной и анионной форме, при которой расширяется поглощательная способность в условиях более влажных степных ландшафтов. Закрепление Ca, P, Rb, Sr, K, S, Cl, Br выше в растениях рода *Artemisia L.*, что зависит от их предпочтения в поглощении анионогенных элементов, концентрация которых выше в засушливых и засоленных ландшафтах. Геохимические особенности каштановых почв способствуют накоплению большинства изученных элементов в растениях рода *Poaceae Barnhart*, что при повышении атмосферного увлажнения может стать немаловажным фактором накопления химических элементов в верхнем профиле данных почв. В бурых-полупустынных почвах из-за особенностей засушливого климата геохимические процессы способствуют образованию анионогенных элементов и элементов-комплексобразователей, которые лучше поглощаются растениями родов *Artemisia L.* и *Chenopodioideae*.

Литература

1. Добровольский В.В. Геохимия почв и ландшафтов /Избранные труды, Т.II. -М.: Научный мир., 2009. – 752 с.
2. Кудреватых И.Ю., Калинин П.И., Алексеев А.О. Биогенное накопление химических элементов растениями родов *Poaceae Barnhart* и *Artemisia L.* в сухостепной и полупустынной зонах юга Русской равнины // Сибирский экологический журнал. 2019. Т. 26. № 4. С. 466-478.
3. Уфимцева М. Д. Закономерности накопления химических элементов высшими растениями и их реакции в аномальных биогеохимических провинциях // Геохимия. 2015. № 5. С. 450–465.

АКТИВНЫЙ ПУЛ ОРГАНИЧЕСКОГО АЗОТА ПОЧВ СУХИХ СТЕПЕЙ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ²⁹

Т.В. Кузнецова, С.Н. Удальцов, М.В. Ельцов

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,

Путино Московской обл.; tvku19@mail.ru

Почвенное органическое вещество (ПОВ) – ключевой компонент в формировании плодородия почвы и обеспечении растений и микроорганизмов питательными элементами. Процессы трансформации ПОВ непосредственно связаны с интенсивностью преобразований азотсодержащих соединений в почве и наземных экосистемах. Доступный для растений азот поступает в почву из активного пула ПОВ, который состоит из подвижных минеральных форм и органических соединений азота, вовлеченных в непрерывные минерализационно-иммобилизационные превращения, и который может служить чувствительным индикатором изменений свойств почвы под действием агрогенных и природных факторов [1–3], а также биологическим критерием плодородия почвы [4]. Комплексным показателем основных процессов внутрипочвенного цикла азота, представленного разными по химической природе, степени подвижности и скорости оборачиваемости компонентами, является величина азотминерализующей способности почв (АМСП). АМСП характеризует потенциальные размеры преобразования органического азота в неорганические формы при определенных условиях температуры и влажности, зависит от размера потенциально-минерализуемого пула ПОВ и активности организмов, участвующих в его разложении и минерализации [2]. На нетто-минерализацию азота в почве доминирующее влияние имеет не только содержание и растворимость ПОВ, но и приуроченность почвы к разным формам рельефа [5].

Нами в почвах сухих степей Нижнего Поволжья (Волгоградская обл.) на разных формах рельефа определены размеры потенциально-минерализуемого ($N_{\text{пм}}$) и нетто-минерализованного ($N_{\text{нм}}$) азота, а также рассчитаны константы (k , сут⁻¹) скорости минерализации этих компонентов биокинетическим методом (по накоплению подвижного минерального азота ($N_{\text{мин}}$) = $N-NH_4^+_{\text{обм}}+N-NO_3^-$) в течение 60 сут инкубации при 22 °С и 24 вес. %). Образцы каштановых почв разной степени солонцеватости и солончаковатости были отобраны из гор. А1 ($A_{\text{пак}}$): на водоразделе – целина, агроценоз; в середине водораздельного склона – целина, агроценоз; в нижней части склона – лесополоса и на пойме (р. Аксай) – залежь. Содержание $N_{\text{общ}}$ находилось в пределах 121–247 мг N/100 г и было выше в почвах целинных участков и залежи, а в почвах других участков оно было в среднем в 1.7 раза ниже. Исходное содержание подвижного $N_{\text{мин}}$ в почвах составляло 0.30–2.04 мг N/100 г и было выше в почвах склона.

²⁹ Исследования выполнены в рамках темы госзадания № АААА-А18-118013190177-9.

Максимальные величины $N_{\text{пм}}$ были определены в почвах целинных участков (5.44 и 4.88 мг N/100 г – соответственно склон и водораздел), при этом $k N_{\text{пм}}$ в почвах на склоне были в 1.7 раза выше, чем на водоразделе, интенсивность минерализации азотсодержащих органических соединений также была выше в почвах на склоне. Доля $N_{\text{пм}}$ от содержания органического азота ($N_{\text{орг}}$), рассчитанного по разнице между содержанием $N_{\text{общ}}$ и общего минерального азота (обменный аммоний + фиксированный аммоний + нитраты), составляла 1.6–4.1% и была в 1.8 раз выше в почвах агроценоза.

Величины $N_{\text{нм}}$ в почвах были близкими к размерам $N_{\text{пм}}$. Размеры $N_{\text{нм}}$ превышали в 1.7–10.7 раз исходное содержание подвижного $N_{\text{мин}}$ в почвах, при этом $N_{\text{нм}}$ в почвах был представлен только нитратной формой.

Биогеохимические циклы азота и углерода сопряженно связаны между собой через участие микроорганизмов в процессах синтеза и разложения ПОВ [6], поэтому для более объективной оценки минерализуемости органических соединений активного пула следует определять не только размеры азотминерализующего, но и размеры углеродминерализующего потенциалов ПОВ. Соотношение содержания потенциально-минерализуемых углерода и азота в исследуемых почвах целины составляло 20.2 и 27.8, агроценоза – 9.4 и 12.6 соответственно на водоразделе и склоне.

Таким образом, выявлено, что активное органическое вещество исследуемых почв на склоне более подвержено деградации, чем почв на водоразделе. Полученные результаты исследования по оценке азотного статуса почв сухостепной зоны могут быть востребованы при прогнозировании состояния и разработке конкретных мер по сохранению и повышению плодородия почв данного региона.

Литература

1. Кудяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 3–15.
2. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 78–96.
3. Банкин М.П., Банкаина Т.А., Земесзиркс Н.Э. Агрофизический и биологический критерии плодородия автоморфных дерново-подзолистых почв агроценозов // *Вестник СПбУ. Сер. 3. Биология*. 2006. Вып. 1. С. 177–189.
4. Osemwota I.O., Edosomwan N.L., Okwuagwu M. Mineralization of soil organic nitrogen – a review // *Agric. Rev.* 2004. V. 25. No. 2. P. 152–156.
5. Soon Y. K., Malhi S. S. Soil nitrogen dynamics as affected by landscape position and nitrogen fertilizer // *Can. J. Soil Sci.* 2005. V. 85. P. 579–587.
6. Кузнецова Т.В., Тулина А.С., Розанова Л.Н., Семенов В.М., Кудяров В.Н. О сопряженности процессов метаболизма углерода и азота в почве // *Почвоведение*. 1998. № 7. С. 832–839.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ДЫХАНИЯ ПОЧВ В ЛЕСНОМ И ЛУГОВОМ ЦЕНОЗАХ ПРИОКСКО- ТЕРРАСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА И СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ³⁰

И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню, Т.Н. Мякшина

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Путино, ikurg@mail.ru*

Дыхание почв (soil respiration, SR) представляет собой сложную совокупность физико-химических и биологических процессов и в значительной степени зависит от абиотических (погодные условия, рельеф, гидротермический режим почв) и биотических (тип почвы, растительность, система обработки почв и др.) факторов среды. И если глобальное распределение величины SR обычно связывают с приуроченностью к той или иной биоклиматической зоне и осредненной температурой воздуха, то на уровне экосистем основными предикторами величины SR обычно выступают опосредованно связанные с погодными условиями гидротермические характеристики почв: температура и влажность почвы [1, 2]. Цель представляемого исследования состояла в сопряженном анализе современных климатических трендов и динамики дыхания дерново-слабоподзолистой супесчаной почвы под лесным и луговым ценозами в Приокско-Террасном биосферном заповеднике (южное Подмосковье; 54°55' N, 37°34' E).

Общее дыхание почвы определяли непрерывно, с периодичностью 3–5 раз в месяц в течение 21 года (1998–2018 гг.) методом закрытых камер. Величину среднемесячной скорости почвенного дыхания (SR, мг C/(м² час)) рассчитывали как арифметическое среднее из всех измерений, проведенных за каждый месяц. Суммарные месячные потоки CO₂ почв (monthly soil respiration, MoSR, г C/(м² мес)) рассчитывали с учетом продолжительности соответствующего месяца. Сезонные (season soil respiration, SeSR, г C/(м² сезон)) и годовые (annual soil respiration, AnSR, г C/(м² год)) потоки CO₂ из почв были получены суммированием соответствующих месячных потоков.

Работа с многолетними рядами метеорологических данных включала построение линейных временных трендов за 46-летний цикл наблюдений (1973–2018 гг.) и за современный 21-летний период (1998–2018 гг.), сопряженный с многолетними непрерывными наблюдениями за дыханием почв лесного и лугового ценозов в заповеднике. Линейные тренды на годовом и сезонном уровнях осреднения строили для следующих метеорологических

³⁰ Работа выполнялась в рамках государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № ААА-А-18-118013190177-9) при финансовой поддержке полевых исследований из средств Программы Президиума РАН (рег. № АААА-А18-118013190179-3).

показателей: температура воздуха (T_v), сумма осадков (Σos), продолжительность устойчивого снежного периода ($ПснП$) и максимальная высота снежного покрова ($МВсн$). Для оценки меры засушливости климата был выбран гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК). Интенсивность и знак наблюдаемых трендов характеризовали с помощью коэффициента линейной регрессии (a), который соответствует средней (s шагом в 10 лет) скорости изменения переменной. Статистическая достоверность полученных трендов оценивалась методом наименьших квадратов по коэффициенту детерминации R^2 и критической значимости тренда P .

В период наблюдений (1998–2018 гг.) выявлены отчетливые тенденции роста среднегодовой температуры воздуха, усиления засушливости летнего периода и уменьшения продолжительности устойчивого снежного покрова. На этом фоне обнаружена общая тенденция снижения величин суммарных потоков CO_2 из дерново-слабоподзолистой супесчаной почвы лесного и лугового ценозов во все календарные сезоны и за годовой период в целом. Статистически достоверными ($P < 0.05$) были линейные тренды снижения годовых и осенних потоков CO_2 из почв в обоих ценозах. За весь 21-летний период наблюдений величина среднемесячных потоков CO_2 из почв тесно коррелировала со среднемесячной T_v ($r = 0.78–0.84$, $P < 0.001$). В засушливые годы температурная чувствительность почв, выраженная через коэффициент Q_{10} , была на 10–12% ниже, чем в нормальные по увлажненности годы. Среднепогодные величины годового дыхания ($AnSR$) дерново-слабоподзолистых почв в лесном и луговом ценозах составляли соответственно 581 ± 54 и 727 ± 71 г $C/(m^2 \text{ год})$ при межгодовой вариабельности 20–22%. Наиболее тесная зависимость отмечалась между $AnSR$ и величиной летнего ГТК, объясняющая 51–56% дисперсии годовых потоков CO_2 из почв. Значительный вклад (73–77%) в годовое дыхание почв вносил теплый период года (май–октябрь), совпадающий с периодом активной вегетации растений. Вместе с тем, доля холодного периода (ноябрь–апрель) в годовом потоке CO_2 из почв в отдельные годы могла достигать 38–39%. Учитывая высокую межгодовую вариабельность месячных и сезонных величин SR , получение реальных оценок сезонных и годовых потоков CO_2 из почв должно базироваться на многолетних рядах экспериментальных данных.

Литература

1. Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // *Nature*. 2010. Т. 464. № 7288. P. 579–582.
2. Raich J.W., Schlesinger W.H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate // *Tellus B*. 1992. № 2. Т. 44. P. 81–99.

КОАГУЛЯЦИОННО-КОНДЕНСАЦИОННОЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОЧВ И ПОЧВЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРИСУТСТВИИ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ

Г.Н. Курочкина

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пушино, colloid41@rambler.ru*

Изучение условий образования различных структур в почве за счет прочности контактов почвенных частиц от коагуляционных до конденсационно-кристаллизационных в присутствии органических веществ типа полиэлектролитов (ПЭ) является наиболее актуальным в почвоведении. В данной работе на примере почв и составляющих ее глинистых минералов (каолинит, монтмориллонит, кварцевый песок, серая лесная и черноземная почвы) установлено влияние адсорбции полиэлектролитов (ПЭ), в том числе и гуминовой кислоты (ГК), на процессы коагуляции почвенных суспензий, а также химической гидратации на обезвоженных солевых и оксидных сорбентах по сорбции паров воды. Для почв и составляющих ее глинистых компонентов, адсорбционными методами выяснены особенности формирования наноадсорбционных слоев ПЭ алифатического строения с образованием минералорганической матрицы на их поверхности. Установлено, что величины предельной адсорбции на примере полиакриловой кислоты (ПАК) и полиакриамида (ПАА) на всех минералах значительно больше, чем расчетные, необходимые для образования монослоя [1]. Это свидетельствует об адсорбции на поверхности не только отдельных макромолекул, но и вторичных структур ПЭ типа пачек или фибрилл, определяющих кластер-матричную структуру модифицированной поверхности. Исследование электроповерхностных свойств анализатором Zetasizer Nano ZS (Malvern, Англия) [2] (электрофоретическая подвижность, электрокинетический потенциал, pH и электропроводность), адсорбционно-модифицированных ПЭ суспензий минералов и почв, подтвердили различия в механизме адсорбции от физической до хемосорбции. Изменение морфологии, структуры поверхности подтверждается повышением значений фрактальной размерности, вычисленных по сорбции паров воды и азота: для исходных почв в пределах 2.055–2.15 до 2.15–2.27 почв с ПЭ. По изменению объемов осадка установлено влияние адсорбции ГК (препарат фирмы Aldrich-Chemie) на коагуляционную устойчивость почвенных суспензий, которая возрастает с повышением концентрации ГК и зависит от типа почвы [3]. При этом она сопровождается выделением гелеобразного осадка и увеличением времени осветления суспензии. Модификация поверхности минералов и почв ПЭ и

ГК приводит к неоднозначному изменению дисперсности, пористости, средних радиусов пор как в сторону увеличения, так и уменьшения их размеров. Однако для образцов с полимерами отмечается существенное увеличение дифференциального объема пор и более однородное распределение его по размерам.

При изучении механизма химической гидратации по сорбции воды из паровой фазы с синхронным измерением электропроводности на примере безводных солевых и оксидных сорбентов были выявлены особенности этого процесса [4]. Впервые на дегидратированных образцах, изменяющих в процессе гидратации свой химический состав (дегидратированные алюмокалиевые квасцы, продукты дегидратации двухводного гипса, а также продукты термической диссоциации карбоната кальция и природного минерала алуни-та) получены нестандартные изотермы сорбции-десорбции. Они позволили разделить процессы физической сорбции и химической гидратации. На изотерме сорбции выявлен ступенчатый характер десорбционных кривых и аномальная необратимая петля гистерезиса, которая определяется природой и составом сорбента. Предложен новый метод расчета величины удельной поверхности при различных (p/ps) по уравнению БЭТ с учетом количества прогидратированного минерала. Это может служить основанием для расчета степени гидратации (%), наряду с методом дифференциального термического анализа. При снятии сканирующих кривых сорбции-десорбции показано, что гидратно-полимер-ные пленки, сформированные с участием ПЭ алифатического или ароматического строения с различными функциональными группами ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{CONH}$ и др.) существенно различаются по дисперсности и структуре. При этом дисперсность в процессе гидратации часто не коррелирует с количеством образовавшихся гидратов и она определяется кристаллохимическими особенностями сорбентов, строением и активностью функциональных групп ПЭ. Показано, что для алюминатных систем введение ароматических ПЭ увеличивает проницаемость гидратных слоев, а алифатических – снижает их; для силикатных систем наибольшее значение приобретает образование нерастворимых кальциевых солей, присутствие которых в экранирующем слое резко снижает их проницаемость и, соответственно, скорость и степень гидратации.

Литература

1. Курочкина Г.Н., Пинский Д.Л. Наноморфология поверхности монтмориллонита, модифицированного полиакриловой кислотой //Физикохимия поверхности и защита материалов. 2016. Т. 52. № 3. С. 1-6.
2. Zetasizer Nano Series. (User Manual). Nano 317. Issue 1.1. Feb. 2004. P. 2- 5.
3. Kurochkina G.N. The Effect of Humic Acid Adsorption on the Coagulation Stability of Soil Suspensions//Eurasian Soil Science, 2020, Vol. 53, No. 1, pp. 62–72.
4. Курочкина Г.Н. Формирование гидратных пленок на поверхности силиката и алюмината кальция в присутствии ПЭ //Почвоведение. 2017. № 8. С. 954-964.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ И ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ПОЧВАХ БУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО- ВОСТОКА РОССИИ

Е.М. Лаптева*, Ю.А.Виноградова*, Е.М. Перминова*,
В.А.Ковалева*, Т.И. Чернов**, Я.В. Пухальский***, С.И. Лоскутов***

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, lapteva@ib.komisc.ru

**Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, chern-off@mail.ru

***Институт озераведения РАН, Санкт-Петербург, puhalskyan@gmail.com

В профиле торфяных почв бугристых болот криолитозоны микробные сообщества функционируют в двух резко различающихся по экологическим условиям зонах – в пределах сезонно-талого слоя (СТС), периодически подвергающегося процессам промерзания-оттаивания, и многолетнемерзлой толще торфа – многолетнемерзлых породах (ММП), где сохраняются отрицательные температуры в течение длительного промежутка времени. Цель данной работы заключалась в изучении особенностей распределения микроорганизмов и их разнообразия в торфяной залежи бугристых болот.

Объекты исследования – торфяные мерзлотные почвы болотных массивов, расположенных в различных биоклиматических зонах (подзонах) Большеземельской тундры (БЗТ), два из которых приурочены к лесотундре (ключевой участой «Нарьян-Мар»), остальные (участки «Роговая» и «Пади-мей») – к территории южной тундры. В работе использовали комплексный подход, включающий сочетание классических (выделение микроорганизмов на твердых питательных средах, оценка их численности и биомассы методом люминесцентной микроскопии) и современных (исследование ультрамикрoформ бактерий [1], ПЦР-диагностика амплифицированных фрагментов генов 16S рРНК бактерий и архей [2]) методов. Функциональное разнообразие микробиоты изучали методом мультисубстратного тестирования [3]. Анализ нуклеотидной последовательности V4 гена 16S рРНК проводили на базе ресурсного центра «Генетические технологии» Санкт-Петербургского университета.

Во всех исследованных образцах торфа получена высококачественная метагеномная ДНК в диапазоне 23 тыс. п.н. В зависимости от ботанического состава торфа, специфики криогенных условий количество копий ДНК бактериального сообщества варьировало от $9 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^{12}$. Установлено, что прокариотный комплекс СТС представлен преимущественно филумами бактерий *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Planctomycetes*, *Proteobacteria* и *Verrucomicrobia*. В СТС торфяников лесотундры доминируют *Acidobacteria* (к ним относятся 30–84% всех проанализированных последовательностей

гена 16S рРНК), южной тундры – *Proteobacteria* (55–62%). В ММП торфяных почв отмечено снижение доли *Acidobacteria* (на глубине 55–115 см она не превышает 10%) и возрастание роли бактерий филума *Firmicutes* (21–42%) [2], представители которых способны образовывать устойчивые к низким температурам покоящиеся формы.

Комплекс микроскопических грибов в торфяниках БЗТ представлен 83 видами. По их числу доминирует род *Penicillium* (36 видов), остальные роды представлены единичными видами. В структуре комплексов основную роль играют случайные виды (51%). Во всех слоях торфяной залежи наиболее обильны *Talaromyces funiculosus* (19–33%), *Penicillium spinulosum* (12–21%) и *Umbelopsis vinacea* (10–15%). Минимальным разнообразием (23 вида) отличаются надмерзлотные слои торфа, для которых характерен застой влаги и околонулевые температуры в течение всего вегетационного периода

Установлены различия в функциональном разнообразии бактериальных сообществ, представленных в СТС и ММП, а также на границе их контакта. Выявлена высокая метаболическая активность (W) и функциональное разнообразие (индекс Шеннона H) бактериальных комплексов в СТС (W = 2014–2319; H = 5.20–5.37) и ММП (W = 1950–2075; H = 4.75–5.3) торфяных мерзлотных почв бугристых болот и ее снижение на контакте с верхней границей мерзлоты, особенно ярко проявляющееся при оценке фильтрующих форм бактерий (W = 716; H = 2.94–4.70). Роль последних в функционировании комплекса прокариот резко снижается в неблагоприятных условиях постоянного переувлажнения и околонулевых температур, которыми характеризуются надмерзлотные слои почв в тундровых экосистемах.

Литература

1. Кадулин М.С., Конова И.А., Лысак Л.В., Соина В.С., Лапыгина Е.В., Звягинцев Д.Г. Наночастоты бактерий в некоторых почвенных конкрециях // Вестник МГУ. Сер.17: Почвоведение. 2012. №1. С.43-49.
2. Лаптева Е.М., Виноградова Ю.А., Чернов Т.И., Ковалева В.А., Перминова Е.М. (2017) Структура и разнообразие почвенных микробных сообществ в бугристых болотах северо-запада Большеземельской тундры // Известия Коми научного центра УрО РАН. №4(32). С. 5-14.
3. Методика выполнения измерений интенсивности потребления тест-субстратов микробными сообществами почв и почвоподобных объектов фотометрическим методом: ФР.1.37.2010.08619., ПНД Ф Т 16.1.17-10. М., 2010.

ТРАНСФОРМАЦИЯ И МИГРАЦИЯ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ НА ЗАГРЯЗНЕННОМ УЧАСТКЕ В Г. СЕРПУХОВЕ³¹

М.Ю. Лапушкин*, Г.К. Васильева**

**Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
им. А. Н. Костякова, Москва, makslapushkin@gmail.com*

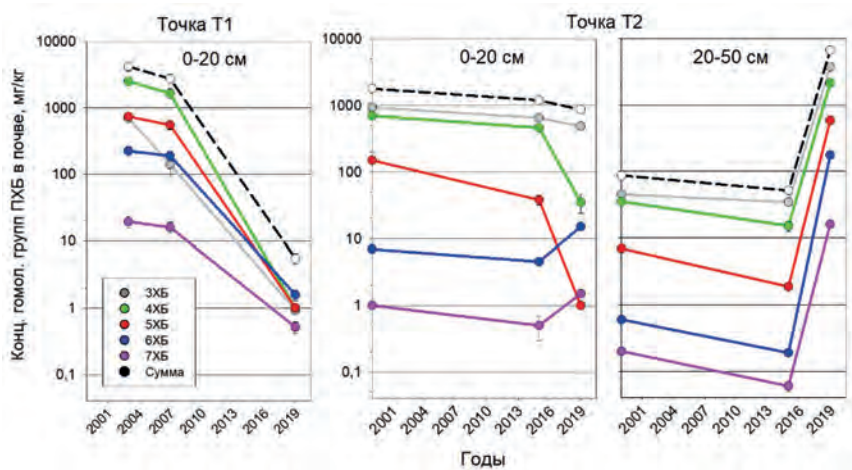
***ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН»,
ИФХиБПП РАН, Пузино*

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) представляют собой различные хлорированные производные бифенила с разным числом атомов хлора в молекуле. С 1929 г. ПХБ и до конца 80-х годов они широко использовались в разных областях народного хозяйства. Однако вследствие обнаруженных токсических свойств и высокой персистентности в окружающей среде в 2004 году Стокгольмская конвенция по стойким органическим загрязнителям запретила их использование и обязала ликвидировать источники загрязнения ПХБ окружающей среды. В 1944 году в г. Серпухове был основан завод «Конденсатор» (в настоящее время – ООО «Серпуховский конденсаторный завод «КВАР»), где до 1988 г. при производстве силовых электрических конденсаторов применялось электроизоляционное масло на основе ПХБ разных марок – «Трихлорбифенил», «Совол» и «Совтол». Наши предыдущие исследования 2003-2006 гг. показали высокий уровень загрязнения территории вблизи этого завода и на других участках города [1]. Целью настоящей работы было изучение современной экологической ситуации на участке вблизи этого завода с учетом предыдущих исследований.

В ноябре 2019 г. был произведен отбор проб почвы в 2-х точках на территории, примыкающей к заводу, в соответствии с предыдущими исследованиями: Т1 – в 100 м от завода (в конце канавы ливневого стока завода) и Т2 – в 160 м., на правом берегу ручья Боровлянка, в 10-20 м от дороги, где проводились другие исследования в 1999 и 2015 гг., описанные в работе [2]. Следует отметить, что за последние годы произошло сильное заболачивание данной территории из-за частичного перегораживания стока ручья Боровлянка насыпным грунтом.

Результаты анализов, представленные на рисунке, показали, что за прошедшие 16 лет в центре участка в верхнем 20-см-вом слое суммарная концентрация конгенов ПХБ в почве сильно снизилась, однако еще оставалась на 2 порядка выше ПДК – 0,06 мг/кг. В то же время их содержание в конце участка – почти не изменилось, а в более глубоком слое почвы (20-

³¹ Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.



Динамика изменения концентрации разных гомологических групп ПХБ.

50 см) сильно возросло. Результаты изменения конгенерного состава ПХБ дают основание полагать, что в центре заболоченного участка, параллельно с медленным процессом микробного разложения низкохлорированных конгенеров (3-хлор- и в меньшей степени 4-хлорбифенилов), происходила миграция этих конгенеров в более глубокие слои почвы и вероятно их вынос с почвенным и поверхностным стоком по уклону местности. Это явилось причиной резкого повышения концентрации всех гомологических групп в нижнем слое почвы на южной границе участка.

Таким образом, на основании исследований можно сделать вывод о том, что на обследуемом участке, находящемся в непосредственной близости к жилым кварталам г. Серпухова, сохраняется неблагоприятная экологическая обстановка. Степень загрязнения почвы ПХБ в соответствии с СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства» можно классифицировать как «очень сильная». Это указывает на необходимость установления четкого ареала загрязнения и проведения рекультивации загрязненного участка, что соответствует требованиям Стокгольмской конвенции о СОЗ.

Литература

1. Vasilyeva G.K., Striyakova E.R., Nikolaeva S.N. et al. Dynamics of PCB removal and detoxification in historically contaminated soil samended with activated carbon // Environmental Pollution – 2010 – 158 –pp. 770 – 777.
2. Малина Н.В. Приоритетные органические загрязнители в объектах окружающей среды: Дис. кандидата химических наук: 03.02.08 / ФГБУН РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина» – М., 2016 – 159 С.

ДЫХАНИЕ ПОЧВ В ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА: ВЛИЯНИЕ ВЫСОТНОГО ГРАДИЕНТА И РЕЖИМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ³²

В.О. Лопес де Гереню*, В.В. Каганов, И.Н. Курганова*,
В.Т. Нгуен***, А.Н. Кузнецов*****

**Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пушкино, vlopes@mail.ru*

***Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва*

****Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр; Ханой-Хошимин, Вьетнам*

Тропические леса отличаются большим разнообразием и сложностью структуры. Вместе с тем, даже небольшие изменения в соотношении между процессами депонирования и эмиссии диоксида углерода, которые могут произойти в экосистемах тропических лесов под влиянием изменений температуры, влажности или землепользования, способны привести к «раскачке» углеродного баланса на глобальном уровне. Цель представляемой работы состояла в сравнительной оценке дыхания почв в экосистемах естественных тропических лесов, расположенных на разных высотах относительно уровня моря и имеющих разную степень антропогенной нагрузки.

Исследования проводили в 2018–2020 гг. на территории трех национальных парков (НП): (1) НП Нам Кат Тьен (высота н.у.м. 140 м., антропогенная нагрузка отсутствует); (2) НП Йок Дон (высота н.у.м. 230 м., выраженная антропогенная нагрузка) и (3) НП Бу Зя Мап (высота н.у.м. 430 м., антропогенная нагрузка отсутствует). В каждом парке для проведения стационарных наблюдений за эмиссией CO₂ из почв (почвенным дыханием) были выбраны площадки с относительным преобладанием представителей двух семейств: рода диптерокарповые (Dipterocarpaceae, D) и рода лагерстремиа (Lagerstroemia, L). Представители первого семейства образуют парцеллы на участках с влажной почвой и высоким содержанием Сорг, представители второго – менее требовательны к условиям произрастания и занимают участки с каменистой или песчаной почвой. Измерение эмиссии CO₂ из почв проводили методом закрытых камер, которые врезали в почву на глубину 5 см. Концентрацию CO₂ в камерах измеряли с помощью портативного инфракрасного газоанализатора AZ 719. Измерение почвенного дыхания проводили в конце сухого (февраль–март) и в конце влажного (ноябрь–декабрь) сезонов. В НП Нам Кат Тьен и Бу Зя Мап, где антропогенная нагрузка отсутствует, парцеллы Д и Л представляют собой классические четырехярусные тропи-

³² Работа выполнялась в рамках государственного задания № АААА-А18-118013190177-9) при поддержке Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра.

ческие леса с сомкнутыми кронами. Запасы Сорг в слое 0–50 см в насаждениях Д и Л НП Кат Тьен составляют 9.8 и 11.6 кг С/м², соответственно. В НП Бу Зя Мап запасы Сорг были чуть выше и составили 12.9 и 14.0 кг С/м² для площадок с преобладанием Д и Л, соответственно). Антропогенная нагрузка в НП Йок Дон выражена интенсивным выпасом крупного рогатого скота (КРС) и ежегодным сжиганием листового опада в сухой сезон. Выпас КРС привел к уничтожению растительности третьего и четвертого ярусов. Парцеллы Д, повреждаемые ежегодными низовыми пожарами, представляют собой разреженный (проективное покрытие менее 50%), невысокий (высота деревьев достигает 12–15 м) древостой без лесной подстилки, что в совокупности приводит к интенсивной водной эрозии почвы в период тропических ливней, а в период засухи – к перегреву и иссушению почвы. Запас Сорг в почве под Д составил всего 2.9 кг С/м². Лагерстремиевая парцелла расположена вблизи пересыхающего водотока, и почва здесь дольше сохраняет влагу. Кроме того, насаждения Л более устойчива к воздействию низовых пожаров и поэтому высота древостоя достигает 20–22 м при проективном покрытии до 70–80 %. Запас Сорг в почве составил 9.0 кг С/м².

Самое низкое дыхание почв (65–88 мг С/м²/час) наблюдалось в Д и Л древостоях НП Йок Дон. При этом достоверной разницы между сухим и влажным сезонами не наблюдалось. Влажность почвы в сухой сезон составляла 1.3–2.0 об. %, а температура, на глубине 5 см, достигала 32 °С. В конце влажного сезона в почвах в НП Йок Дон содержалось от 5.1 до 12.8 об. % влаги при температуре 25.7–27.8 °С. В НП Нам Кат Тьен поток СО₂ из почв в сухой сезон составил, соответственно, 71–107 мг С/м²/час. Влажность почвы составляла 11.4–12.2 об. %, температура 24–25 °С. Во влажный сезон в НП Нам Кат Тьен дыхание почвы в Д возросло до 136 мг С/м²/час, а в Л до 225 мг С/м²/час при влажности почвы 25.6–33.9 об. % и температуре 23.9–24.4 °С. В сухой сезон самые высокие значения эмиссии СО₂ были в НП Бу Зя Мап и достигали 126.0–176.8 мг С/м²/час. Температура почвы при этом составила 22.8–23.6 °С, а влажность изменялась от 22.1 до 25.7 об. %. В конце влажного периода на площадках НП Бу Зя Мап потоки СО₂ увеличились до 182.7–221.3 мг С/м²/час, влажность почвы составила 33.0–38.7 об. %, а температура – 22.7–23.1 °С.

Полученные результаты показали, что антропогенная нагрузка в виде выпаса скота и сжигания листового опада явилась причиной значительной деградации почвы, что привело к снижению запасов Сорг и, как следствие, – уменьшению потоков СО₂ из почвы. На площадках НП Нам Кат Тьен эмиссия СО₂ во влажный сезон была в 2 раза выше, чем в сухой. Из-за более высокого положения в рельефе, территория НП Бу Зя Мап в сухой сезон получала более высокое количество осадков, поддерживая влажность почв на уровне 20.6–25.8 об. %. Это привело к тому, что дыхание почв во влажный и сухой сезоны здесь достоверно не отличалось.

ПОЛИХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КРИОГЕННЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ³³

А.В. Лупачев*, П.П. Данилов, М.И. Ксенофонтова**,
П.И. Калинин***

**Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуццо, a.lupachev@gmail.com*

***Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера, «Северо-
Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск*

Полевые исследования мерзлотных почв и многолетнемерзлых пород на Севере респ. Саха (Якутия) – вблизи пос. Черский и на побережье Восточно-Сибирского моря – проводились в начале-середине августа 2019 г. Изучались криоземы, глееземы и торфяно-глееземы на породах преимущественно пылевато-суглинистого состава. На данном участке сезонный деятельный слой колеблется в пределах 40-70 см, в зависимости от мощности поверхностного органогенного горизонта. В целом, исследуемый ключевой участок на Севере Якутии, может считаться одним из наиболее экологически чистых, за счет своей значительной удаленности от крупных промышленных узлов, объектов транспортной инфраструктуры и населенных пунктов.

В результате измерения валового содержания тяжелых металлов и других химических элементов в ранее отобранных образцах фоновых тундровых и таежных почв был получен валовой химический состав полных профилей, а также отдельно отобранных образцов из надмерзлотных горизонтов и верхнего слоя ММП. В надмерзлотных горизонтах отмечается увеличение концентрации биофильных элементов (P, S, K, Ca, Na, а также Si), по сравнению с вышележащими горизонтами, а также уменьшение концентраций Fe и Mg, что связывается нами с увеличением содержания Сорг вниз по профилю. Факта накопления тяжелых металлов в приповерхностных органо-минеральных горизонтах, криотурбированных и погребенных солифлюкционными процессами фрагментах, а также в надмерзлотных горизонтах изученных профилей обнаружено не было.

Полевые исследования криогенных почв и подстилающих их многолетнемерзлых пород в окрестностях города Якутск и близлежащих районах проводилось в конце августа 2019 г., в период, довольно близкий к достижению сезонно-талым слоем своей максимальной глубины. Почвообразующие породы на исследуемом ключевом участке в основном представлены супесями и песками на водораздельных и склоновых поверхностях, в некоторых случаях – легкими суглинками в подчиненных формах рельефа. Участок отличается значительной пестротой почвенно-растительного покрова и разнообразием

³³ Работы проведены при поддержке РФФИ (19-05-00071).

почвообразующих пород, что, в свою очередь, обуславливает широкую амплитуду глубины сезонного оттаивания почв – от 40-50 см до 2,5-3 м. Почвы на автоморфных элементах ландшафта преимущественно мерзлотные подбуры, торфяно-подбуры и палевые. В долине Туймаада почвы в основном представлены мерзлотными подтипами черноземовидных, перегнойно-глеевых и дерново-глеевых почв, а также аллювиальных и торфяно-глеевых почв. Якутск является крупнейшим промышленным узлом Центральной Якутии, со значительной историей освоения территории и различным характером и уровнями антропогенного воздействия, в различных прилегающих районах.

Исследования содержания тяжелых металлов в почвах, несмотря на относительно невысокие значения, показали наличие аккумуляции практически всего спектра элементов в поверхностных органогенных и органо-минеральных горизонтах почв. При этом, в фоновых минеральных почвах их концентрации равномерно убывают книзу, достигая значений, близких к порогу определения, тогда как в антропогенно-нарушенных почвах валовые концентрации свинца, кадмия, кобальта и мышьяка имеют показатели, сравнимые с поверхностными горизонтами в солифлюкционно и флювиально погребенном органо-минеральном материале, а также в некоторых надмерзлотных горизонтах.

Определение содержания антропогенных углеводородных групп в почвах показало преимущественно низкий (редко – средний) уровень загрязнения почв. Однако, как и в случае с тяжелыми металлами, при аналитических исследованиях отмечена аккумуляция нефтепродуктов в солифлюкционно и флювиально погребенном органо-минеральном материале, а также в надмерзлотных горизонтах.

Проведенные исследования по геоморфологическим катенам от автоморфных позиций ландшафта, где находились источники локального загрязнения почв (склад открытого хранения ТБО, хранилища нефтепродуктов, карьер добычи угля), вниз по уклону местности или тальвегу ручья и далее в гидроморфную позицию ландшафта показали выраженную миграцию солей, соединений тяжелых металлов и нефтепродуктов и их аккумуляцию в торфяно-глеевых почвах в понижениях мезорельефа.

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОЙ СРЕДЫ В ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ³⁴

А.Н. Мальцева, Д.Л. Пинский

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуццо, ansmalc@mail.ru*

Основным источником поступления органического вещества (ОВ) в почву является растительный опад и мормасса живущих в ней организмов. В почве органические остатки подвергаются одновременно протекающим процессам трансформации – разложению, минерализации и стабилизации. Минеральная часть почвы является одним из главных факторов, влияющих на динамику почвенного ОВ (ПОВ). Почвенные минералы влияют на трансформацию ОВ посредством различных биологических, химических и физических механизмов. Минеральная среда может регулировать разложение растительных остатков (РО) и динамику ПОВ, влияя на жизнедеятельность микроорганизмов, которые управляют минерализацией ОВ. Стабилизация продуктов разложения органических остатков в почвах является ключевым фактором, обуславливающим его сохранение и накопление. Физико-химическая стабилизация ПОВ предполагает химическое или физико-химическое связывания органических соединений с минералами или отдельными катионами металлов с образованием прочных мало доступных микроорганизмам органо-минеральных соединений [1, 2]. Считается, что образование органо-минеральных комплексов является ключевым процессом в цикле углерода и азота в почве. Взаимодействие ОВ с минералами предотвращает микробное разложение и таким образом стабилизирует ОВ в почвах на протяжении веков и тысячелетий. Под физической стабилизацией понимается защита ОВ от разложения путем создания физических барьеров, образующихся между сообществом разлагающих организмов и ПОВ. Такие барьеры формируются при окклюзии ОВ в микро- и макроагрегатах. Кроме того, минералы могут играть роль катализаторов как вторичного синтеза ОВ, так и распада ОВ.

Понимание закономерностей взаимодействия почвенных минералов с ОВ необходимо при разработке новых методов управления ПОВ для улучшения поглощения углерода в почвах и снижения выбросов парниковых газов и решения многих других экологических и сельскохозяйственных задач. Наши современные знания о влиянии состава минеральной среды на запасы ОВ в почвах основано на ограниченных и противоречивых данных [2]. В этой связи принципиально важным представляется исследование фундаменталь-

³⁴ Работа выполнена в рамках Государственного задания № АААА-А18-118013190180-9 и при финансовой поддержке РФФИ проект № 19-29-05265.

ных механизмов стабилизации ОВ на минеральных матрицах различного состава и свойств.

Установление количественных и качественных характеристик трансформации ОВ РО в стабильный пул ПОВ является важной задачей [2]. В модельных системах нами исследовано влияние минеральной среды на трансформацию биомассы клевера и кукурузы. При постоянных температуре 20°C и влажности (60 % от полной влагоемкости искусственных субстратов) РО инкубировали в контакте с минеральными компонентами покровного суглинка, кварцевого песка, смесей песка с бентонитовой или каолиновой глиной в течение 6 месяцев. Установлено, что динамика углерода и азота, показателя C/N, водорастворимого ОВ органо-минеральных субстратов в значительной степени регулируется составом минеральной среды. Разложение РО и стабилизация продуктов разложения – это процессы взаимосвязанные, однако влияние минералов на них может быть противоположно направленным. Внесение минералов может привести к снижению скорости минерализации РО, но не способствовать накоплению ОВ в защищенном минералами состоянии, приводящем к его долговременной стабилизации. Поэтому в работе дополнительно с кинетикой минерализации РО исследованы закономерности аккумуляции продуктов трансформации ОВ денсиметрическими фракциями различного минералогического состава. Выявлено, что продукты трансформации более легкоминерализуемой биомассы клевера сохраняются в составе органоминеральных комплексов, в отличие от РО кукурузы. По результатам эксперимента также выявлено влияние минералогии на химический структурный состав стабилизированного ОВ. Показано, что вследствие селективной сорбции ОВ минералами органоминеральные соединения характеризуются различной обогащенностью азот- и кислородсодержащими органическими фрагментами. Таким образом, изучение совместного влияния биохимического состава растительного материала и свойств минералов на стабилизацию ОВ является важным в проблеме контроля динамики ОВ почв.

Литература

1. Singh M., Sarkar B., Bolan N.S., Ok Y.S., Churchman G.J. Decomposition of soil organic matter as affected by clay types, pedogenic oxides and plant residue addition rates // *Journal of Hazardous Materials*. 2019. V. 374. P. 11-19.
2. Vogel C., Heister K., F. Buegger I. et al. Clay mineral composition modifies decomposition and sequestration of organic carbon and nitrogen in fine soil fractions // *Biology and Fertility of Soils*. 2015. V. 51. P. 427-442.

ЖИВЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ: АМЕБОИДНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ ИЗ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ КАК МОДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ

С.А. Малявин, Л.А. Шмакова

ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Пушкино,
malavin@pbcras.ru, shmakova@pbcras.ru

В настоящее время в лаборатории криологии почв ИФХиБПП РАН культивируется около сорока клональных культур амeboидных одноклеточных организмов, выделенных из отложений вечной мерзлоты плейстоценового возраста – от десятков до сотен тысяч лет. Строгий контроль отсутствия контаминации при отборе проб и синкриогенный характер отложений (промерзание происходит одновременно с осадконакоплением, после чего отложения никогда не тают) позволяют говорить, что возраст клеток, из которых получены штаммы, был примерно равен возрасту самих отложений. Обнаруженные организмы характеризуются разнообразной экологией и таксономическим положением. Описания части из них опубликованы, часть ожидает описания как новые для науки таксоны.

Один из обнаруженных в вечной мерзлоте родов амeb – *Acanthamoeba* – отличается от других легкостью аксеничного культивирования, что делает его удобным объектом самых разнообразных исследований. Первостепенной задачей, однако, было точно определить систематическое положение шести выделенных штаммов. Молекулярная систематика акантамeb крайне запутана, а морфологическая недостаточно разработана и входит в противоречие с молекулярной. При этом, как это часто бывает, разные гены дают противоречивые филогении. Путем комбинации данных морфометрии, динамики роста культур на разных температурах и молекулярных филогений, построенных по трем генам, нам удалось показать, что по нашим штаммам проходит одна из видовых границ в роде, и, таким образом, подойти к обоснованной концепции вида для *Acanthamoeba*. Более того, мы предложили гипотезу, почему филогении по разным генам противоречат друг другу. Все это подготавливает основу для обоснованной ревизии рода, что является нашей следующей задачей. Учитывая колоссальное количество выделенных и секвенированных во всем мире штаммов, акантамebы могут служить моделью для изучения механизмов видообразования у протистов в целом.

Помимо изучения качественного состава микрoзукaриот в мерзлоте, мы также изучаем механизмы клеточного ответа на обезвоживание и замерзание. Анализ водорастворимых метаболитов с помощью ЯМР-спектроскопии и степени насыщенности жирных кислот с помощью газовой хроматографии позволил получить некоторые предварительные ответы на поставленный

вопрос. Показано, что в покоящихся стадиях акантамеб накапливаются вещества, играющие роль осмолитов-криопротекторов у других организмов. Кроме того, увеличивается концентрация некоторых ненасыщенных жирных кислот. Изучена устойчивость цист, псевдоцист и трофозоитов акантамеб к различного рода неблагоприятным воздействиям. Описан новый механизм получения псевдоцист – в результате постепенного высыхания (увеличения концентрации) среды. Псевдоцисты, таким образом, могут служить средством защиты от быстрого и кратковременного ухудшения условий среды (например, заморозки на почве) и не являются стадией жизненного цикла, тогда как циста – отдельная стадия, требующая времени и ресурсов для своего формирования и более устойчивая к долговременным негативным воздействиям.

УДК: 574.42

ЭМИССИОННЫЕ ПОТОКИ CO₂ ИЗ ПОЧВ В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ: ОСНОВНЫЕ МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

**А.В. Махныкина*, **, А.С. Прокушкин*, **, Н.Н. Кошурникова*,
Е.А. Ваганов***

**ФИЦ «Сибирский федеральный университет», Красноярск,
amakhnykina@sfu-ktas.ru, nkoshurnikova@sfu-kras.ru, research@sfu-kras.ru*

***ФИЦ «Красноярский научный центр Институт леса им. В.Н. Сукачева
СО РАН», Красноярск, prokushkin@ksc.krasn.ru*

Бореальные леса являются вторым по величине лесным биомом [1] и содержат большое количество углерода в почве, причем наиболее чувствительным к изменению внешних условий. Измерения почвенной эмиссии показывают, что бореальные леса являются слабыми поглотителями атмосферного CO₂ на единицу площади, главным образом в результате высокой дыхательной активности с ростом температуры [2]. Известно, что процесс выделения CO₂ из почвы, особенно в масштабе сезона существенное влияние оказывают температура и влажность почвы, а также содержание в почве азота [3].

В нашем исследовании мы рассмотрели влияние двух внешних факторов – условия увлажнения и количество азота в почве на поток почвенной эмиссии CO₂. Район исследования находился в Туруханском районе Красноярского края (60°47'57.3" с.ш., 89°21'22.7" в.д.).

Изучение действия факторов проводилось в течение бесснежного периода с июня по сентябрь включительно. Влияние дифференцированного количества осадков рассмотрено для пяти уровней увлажнения, четыре из которых

определялись как % от проходящих атмосферных осадков (дождь) – 0, 25, 50 и 100% от выпавшего количества осадков, и пятый уровень – оптимальная влажность почвы для данных экосистем ($SWC = 0.30 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$). Изучение влияния содержания азота в почве проводилось путем внесения азота (аммиачная селитра – NH_4NO_3). В качестве повторностей был выбран широкий диапазон концентрации N – 0, 1, 2, 4, 8, 15, 20, 50, 100 и 150 кг N га^{-1} .

Измерения почвенной эмиссии проводились с использованием инфракрасного газоанализатора LI-8100A (Li-cor Inc., США). Замеры температуры почвы (на глубине 5, 10 и 15 см) с помощью почвенного температурного датчика Soil Temperature Probe Type E (Omega, США), объемной влажности почвы SWC (на глубине 5 см от поверхности минеральной почвы) – используя влагомер Theta Probe Model ML (Delta T Devices Ltd., Великобритания).

Если рассматривать условия увлажнения, как естественный фактор среды, то в первую очередь его лимитирующее воздействие на поток CO_2 наблюдается в течение всего вегетационного сезона. В середине сезона при пиковых значениях почвенной эмиссии (до $11 \text{ μмоль C-CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ на участке с постоянной влажностью в 30%) особенно прослеживается влияние влажности, которое суммируется с влиянием роста температуры, и становится основной причиной иногда скачкообразного роста эмиссии. В данном случае мы можем говорить о долгосрочной и устойчивой адаптации к дефициту и избытку осадков в течение вегетационного сезона: в обоих случаях зачастую наблюдается ингибирование скорости почвенной эмиссии. В отличие от фактора естественного происхождения, количества азота, как фактор антропогенного происхождения, проявляется характеризуется отличным воздействием на поток CO_2 из почвы. Влияние различных концентраций азота в течение летнего периода становится второстепенным, поскольку сезонные изменения климатических условий в большей степени контролируют величину потока CO_2 почти на всем протяжении сезона. Однако в конце сезона, когда наблюдается уменьшение как количества осадков, так и снижение температуры, вклад азота приводит к росту почвенной эмиссии.

Интересно, что при внесении и воды и азота можно проследить импульсный ответ на резкое изменение условий внешней среды, поскольку измерения почвенной эмиссии проводились непосредственно после введения дополнительного внешнего фактора. Реакция на одновременное внесение азота спровоцировала запуск ряда стресс-механизмов на рост концентрации азота, которые достигли пика развития к середине сезона, что и вызвало спад скорости эмиссии при высокой концентрации N. Далее произошло так называемое «переключение системы» и усвоение азота улучшилось с ростом количества атмосферных осадков. Внесение дифференцированного количества осадков позволило не только установить и подтвердить пороговое значение по влажности почв для конкретной экосистемы, но и изучить изменение потоков CO_2 при развитии экстремальной засухи или переувлажнения территории.

Литература

1. Chapin III F.S., Matson P.A., Mooney H.A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. New York: Springer Verlag. 2002. 577 p.
2. Janssens I.A., et al. Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. Glob. Change Biol. 2001. V. 7. P. 269–278.
3. Ryan M.G., Lavigne M.B., Gower S.T. Annual carbon cost of autotrophic respiration in boreal forest ecosystems in relation to species and climate. J. Geophys. Res. 1997. V. 102. P. 28871–28883.

УДК 579.695; 546.85; 502.55; 661.63

ВЛИЯНИЕ БЕЛОГО ФОСФОРА НА ЧЕРНЫЙ АСПЕРГИЛЛ

А.З. Миндубаев*, Э.В. Бабынин, Е.К. Бадеева***,
А.Д. Волошина**, С.Т. Минзанова***, Л.Г. Миронова***,
Й.А. Аксах****

**ООО «Инновационные технологии детоксикации», mindubaev-az@yandex.ru*

***Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань*

****Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН, Казань*

Белый фосфор является одним из самых опасных загрязнителей окружающей среды. Тем не менее, он применяется в промышленности и в военных целях, поэтому не исключается попадание данного вещества в почву. Между тем, метод биодegradации является одним из наиболее популярных способов обезвреживания промышленных стоков [1].

Впервые получены культуры микроорганизмов, растущих в средах с содержанием белого фосфора до 1% [2]. Это многократное превышение ПДК. Произведены посевы грибов в культуральные среды, содержащие белый фосфор в качестве единственного источника фосфора. В данных средах микроорганизмы росли и не испытывали фосфорное голодание, то есть окисляли белый фосфор до фосфата, необходимого для жизнедеятельности [3, 4].

Мы идентифицировали микроорганизмы как новые штаммы *Aspergillus niger* [5].

Литература

1. Khomenkov V.G., Shevelev A.B., Zhukov V.G., Zagustina N.A., Bezborodov A.M., Popov V.O. Organization of Metabolic Pathways and Molecular-Genetic Mechanisms of Xenobiotic Degradation in Microorganisms: A Review // Applied Biochemistry and Microbiology. 2008. Vol. 44. No. 2. P.117-135.
2. Миндубаев А.З., Волошина А.Д., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Хаяров Х.Р., Минзанова С.Т., Яхваров Д.Г. Микробиологическая деградация белого фосфора // Экология и промышленность России. 2018. Т.22. № 1. С.33-37.

3. Mindubaev A.Z., Kuznetsova S.V., Evtyugin V.G., Daminova A.G., Grigoryeva T.V., Romanova Y.D., Romanova V.A., Babaev V.M., Buzyurova D.N., Babynin E.V., Badeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G. . Effect of White Phosphorus on the Survival, Cellular Morphology, and Proteome of *Aspergillus niger* // Applied Biochemistry and Microbiology. 2020. Vol.56. No.2. P.194-201.
4. Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Пискунов Д.Б., Махиянов А.Н., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Волошина А.Д. Генотоксичность и цитогенетическое действие белого фосфора // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т.9. №1. С. 81-94.
5. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Voloshina A.D., Saparmyradov K.A., Akosah Y.A., Badeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G. The possibility of neutralizing white phosphorus using microbial cultures // News of NAS RK. Series of geology and technical sciences. 2019. Vol. 5. No.437. P.122-128.

УДК: 631.416.8:504.53.054:539.261

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ НА СИНХРОТРОННОМ ИЗЛУЧЕНИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОЧВЕННОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ³⁵

**Т.М. Минкина*, Д.Г. Невидомская*, В.А. Шуваева*,
П.В. Дороватский**, Д.Л. Пинский*****

**Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, tminkina@mail.ru*

***Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, paulgemini@mail.ru*

****Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, pinsky43@mail.ru*

Интенсивное развитие промышленности в середине XX века на территории РФ спровоцировало значительные трансформации компонентов природных экосистем. Работа химических предприятий привела к накоплению масштабных количеств твердых и жидких отходов в виде хвостохранилищ, техногенных озер-приемников промышленных стоков, шламонакопителей и пр [2]. В долгосрочной перспективе в почвах образуются агрессивные продукты выветривания (серная кислота, соединения сульфидов, сульфатов, сульфитов и др.). Новообразованные соединения способствуют интенсивному кислотному гидролизу в отношении природных минералов, выщелачиванию и переводу в раствор больших количеств макро- и микроэлементов. Это сопровождается нарушением свойств естественных почв и способствует формированию антропогенно трансформированных высокозагрязненных почв и почвоподобных образований – хемоземов [1]. Хемоземы представляют особый интерес, так как при длительном загрязнении происходят

³⁵ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-29-05265.

структурные изменения, затрагивающие твердую фазу, что влияет на видообразование, подвижность и биодоступность загрязняющих веществ [2, 3].

Целью работы было изучение трансформационных изменений твердой фазы хемоземов техногенных аномалий Юга России с использованием рентгеновской порошковой дифракции на синхротронном излучении.

Объект настоящего исследования – хемоземы, которые расположены на территории бывшей промышленной зоны химического завода, где на протяжении 50 лет производился сброс и накопление жидких химических отходов предприятия в район природного отстойника – озеро Атаманское, города Каменск-Шахтинский Ростовской области.

Дифракционные исследования выполнены на источнике синхротронного рентгеновского излучения ($\lambda = 0,802604 \text{ \AA}$) на станции «Белок» Курчатовского центра синхротронного излучения НИЦ «Курчатовский институт». Рентгенограммы регистрировали в интегрированном режиме при 20°C . Время выдержки образца составляло 15 мин.

В процессе анализа для каждого рефлекса рентгendifрактограмм были определены Брегговские углы и соответствующие им межплоскостные расстояния. Качественный рентгendifракционный анализ проводился путем сопоставления экспериментальных дифрактограмм с модельными минеральными фазами из базы данных ICSD (Inorganic Crystal Structure Database) это позволило установить, что доминирующей минеральной фазой в хемоземах является кварц. Помимо этого выражены дифракционные пики, которые соответствуют кристаллическим компонентам, составляющим группу фелло-силикатов: гидромусковит, каолинит, гиббсит и смектиты на примере минеральной фазы монтмориллонита. Обнаружены пики аутигенного карбоната цинка (ZnCO_3), пирита (FeS_2). Диагностированы интенсивные пики, которые соответствуют аутигенным серосодержащим соединениям металлов – это минерал вюрцит (ZnS с гексагональной структурой), сфалерит (кубический ZnS), ковеллин (CuS), борнит (Cu_5FeS_4), сульфаты Zn и Cu .

Таким образом, с использованием метода рентгеновской дифракции на источнике синхротронного излучения исследованы техногенно-трансформированные почвы – хемоземы. С высокой чувствительностью диагностированы формы аутигенного минералообразования серосодержащих соединений с металлами (Zn и Cu).

Литература

1. Классификация и диагностика почв Росси / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Minkina T., Nevidomskaya D., Bauer T., Shuvaeva V., Soldatov A., Mandzhieva S., Trigub A. Determining the speciation of Zn in soils around the sediment ponds of chemical plants by XRD and XAFS spectroscopy and sequential extraction // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 634. P. 1165-1173.

3. Voegelin A., Tokpa G., Jacquat O., Barmettler K., Kretzshmar R. Zinc fractionation in contaminated soils by sequential and single extractions: influence of soil properties and zinc content // Journal of Environmental Quality. 2008. Vol. 37. P. 1190-1200.

УДК 631.4

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ³⁶

Е.Е. Михедова*, М.И. Узорина, ***, Е.Р. Стрижакова***,
Л.И. Ахметов****, Г.К. Васильева**, *****

**РГУ Нефти и Газа им. И.М. Губкина, г. Москва, lizamihedova@gmail.com*

***Пуцинский государственный естественно-научный институт,
факультет почвоведения, экологии и природопользования, г. Пуцино*

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

*****Институт биохимии и физиологии микроорганизмов РАН,
akhmetovscience@rambler.ru*

На территории России наиболее интенсивно проявляется нефтяное загрязнение в Западной Сибири, где добывается более 2/3 всей российской нефти, развита густая сеть нефтепроводов и перерабатывается 20% от всего объема добываемой там нефти. Особый интерес в изучении природы Арктики представляет Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), где одной из серьезнейших экологических проблем является загрязнение почв нефтепродуктами. Одним из самых крупных месторождений ЯНАО является Уренгойское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ), которое эксплуатируется более 20 лет. В связи с этим крайне актуальной становится проблема разработки и внедрения наиболее экологичных и экономичных методов рекультивации территорий, подверженных антропогенным рискам.

В наших предыдущих исследованиях была доказана эффективность метода сорбционной биоремедиации нефтезагрязненной серой лесной почвы с помощью сорбентов разных классов, вносимых в почву вместе с биопрепаратами на основе нефтедеструкторов [1, 2]. Целью данного исследования было проверить возможность применения данного подхода к нефтезагрязненной глеевой почве в северных регионах РФ.

Для проведения вегетационного эксперимента, были отобраны образцы глеево-подзолистой почвы ($C_{орг}$ 1,2%, pH 6,3), взятые в районе НГКМ (г. Новый Уренгой). Почву обрабатывали методом биорекультивации в соответ-

³⁶ Анализы почв выполнены на базе ЦКП ИФХиБПП РАН.

ствии с технологией, описанной в нормативных документах компании «ОАО Транснефть» (РД-13.020.40-КТН-208-14).

Почву инкубировали в вегетационных сосудах на 250 мл, ее поверхностно загрязняли нефтью из УНГК, а через 5 сут. выветривания легкой фракции почву перемешивали и вносили соответствующие добавки: минеральные удобрения (азофоску из расчета С:N:P:K=100:1:1:1, доломитовую муку для нейтрализации избыточной кислотности, биопрепарат Микробак на основе углеводород-окисляющих бактериальных штаммов (разработан в ИБФМ РАН). Помимо указанных в РД добавок с почву вносили натуральные сорбенты 3-х классов: минеральные (каолинит, цеолит, вермикулит, диатомит), органические (торф, растительные остатки, СпиллСорб) и углеродистые (гранулированный активированный уголь (ГАУ) и биококс (биоchar на основе осадка сточных вод) в 3-х или 4-х дозах: 0,5; 2; 5 и 10_{масс.}%. Инкубирование почвы проводили в условиях оранжереи ИФ-ХиБПП РАН, поддерживая влажность почвы в пределах 60–80% ППВ. Образцы почвы периодически отбирали на анализ. В образцах определяли суммарную концентрацию углеводородов нефти (УВН) и их окисленных продуктов методом инфракрасной спектроскопии (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98), pH почвы, содержание основных биофильных элементов, влагоемкость и гидрофильность почвы общепринятыми методами. Кроме того, определяли фитотоксичность почвы по показателям роста 7-дневных проростков пшеницы, а также численность углеводород-минерализующих бактерий методом высева на селективную агаризованную среду с парами дизельного топлива в качестве источника углерода.

В результате исследований было установлено, что в присутствии большинства сорбентов происходит снижение токсичности и повышение гидрофильности и влагоемкости загрязненной почвы. При этом наибольший эффект оказало внесение 5–10% сорбентов органической природы (торф, СпиллСорб, сфагновый мох), которые существенно повышают влагоемкость почв. Это поддерживает более высокую влажность почвы в ходе ее обработки, а, следовательно, обеспечивает более благоприятные условия для активности нефтедеструкторов и роста растений.

Таким образом, для нефтезагрязненной глеево-подзолистой почвы Уренгойского месторождения легкого гранулометрического состава основным фактором, повышающим скорость биоремедиации, является повышение влагоемкости почвы за счет снижения ее гидрофобности с помощью сорбентов органической природы.

Литература

1. Зиннатшина Л.В., Стрижакова Е.Р., Данышина А.В, Васильева Г.К. Влияние сорбентов на скорость биоремедиации и свойства почвы, загрязненной смесью нефтепродуктов // Естественные и технические науки, 2018, № 9, с. 24-30.
2. Vasilyeva G., Kondrashina V., Strijakova E., Ortega-Calvo J-J. Adsorptive bioremediation of soil highly contaminated with crude oil // Science of the Total Environment, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135739>.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ ЗАСОЛЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

А.А. Морозова*, **

**Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск,
valeri_170886@mail.ru*

***Институт почвоведения и агрохимии СО РАН*

С развитием адаптивно-ландшафтного и точного земледелия появляется развитие нового подхода. Новый подход обусловлен изучением свойств почв конкретного ландшафта. Так становится очевидным, что для почв различных районов необходимо научное обоснование, точность и тщательность агротехнической и мелиоративной обработки. На низкую урожайность влияет недостаточность изученности природных условий, особенности почвенного покрова. Эффективное управление плодородием почв включает в себя две сложные задачи: получить высокий и стабильный урожай; повысить плодородие почв.

Так в условиях эффективного управления плодородием почв становится необходимым знать химический состав почв, который относится к определенному ландшафту. Целью данной работы является провести сравнительную оценку микроэлементного состава почв южно-восточной и северо-восточной частей Барабинской равнины. Было сделано морфологическое описание, выполнены следующие виды анализов по общепринятым методикам: гранулометрический состав по Качинскому; поглощенные основания – по Шолленбергу; гумус – по Тюрину; величину pH – потенциометрически [1]. Микроэлементы определены на двухлучевом атомноэмиссионном плазмотроне методом атомной эмиссионной спектроскопии. Для каждого генетического горизонта провести анализ химических элементов. Исследования проводились в двух районах Барабинской равнины: I южно-восточный, II северо-восточный; Бараба представляет собой двухступенчатую озерно – аллювиальную равнину. Северо – восточная ее часть относится к более высокой структурно – геоморфологической поверхности, а юга – восточная – к низкой.

Первый район исследования расположен южно-восточной части Барабинской равнины Причановской депрессии. Были заложены два разреза: разрез (P40) – на приподнятом мезорельефе (элювиальная позиция); разрез (P21) – в нижней части (аккумулятивная позиция). Почвообразующие породы представлены озерно-аллювиальными и субаэральными лессовидными отложениями преимущественно суглинистого гранулометрического состава и с разной степенью засоления. С севера-востока на юго-запад равнины состав

почвообразующих пород постепенно меняется. Породы становятся более легкими. В породах увеличивается содержание легкорастворимых солей.

Второй район находится в северо-восточной части Барабинской равнины. Рельеф представляет собой чередованием древних междуречий и ложин стока, вытянутых с северо-востока на юго-запад. В северо-восточной части Барабы в широкой долине реки Карасук были заложены в засоленном агроландшафте по катене три почвенных разреза. На повышенном мезорельефе (элювиальная позиция) расположен разрез №1. Его привязка – $54^{\circ} 31' 28,9''$ с.ш. и $81^{\circ} 30' 45,6''$ в.д. Почва – лугово-черноземная обыкновенная выщелоченная среднесуглинистая. В транзитной позиции выкопан разрез №2, привязка – $54^{\circ} 35' 14,5''$ с.ш. и $81^{\circ} 29' 45,3''$ в.д. Почва – черноземно = луговая солончаковая супесчаная. В аккумулятивной зоне – разрез №3. Его привязка – $54^{\circ} 35' 37,4''$ с. ш. и $81^{\circ} 29' 11,5''$ в.д. Почва – солонец луговой глубокий солончаковый тяжелосуглинистый [2].

Сравнение осуществлялось по 10 микроэлементам: Zn, Cu, Cd, Pb, Mo, V, Mn, Co, Ni, Cr. Для выбранных микроэлементов превышения ПДК не выявлено. Для аккумулятивной позиции для большинства элементов прослеживается накопление за исключением Zn. Валовое содержание микроэлементов в юго-восточной и северо-восточной части в порядковом отношении сопоставимо, однако значения Zn для юго-восточной части превышено в два раза.

Литература

1. Практикум по агрохимии /под редакцией В.Г. Минеева. М.: Изд – во МГУ, 2001. 687с.
2. Добротворская Н. И., Семендяева Н. В., Морозова А.А. Элементный состав почв засоленных агроландшафтов Причановской депрессии и их санитарно-гигиеническая оценка // Сибирский вестник сел.хоз.науки 2019 Том 49, № 2: Новосибирск.

УДК: 574.4

ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ГРАНИЦЕ «ПОЧВА–АТМОСФЕРА» В БОЛОТНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

Ю.В. Мухартова*, А.В. Ольчев, Д.Л. Тарасов**, П.А. Мангура***

**Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,
muhartova@yandex.ru*

***Географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

Почва, растительный покров и атмосфера находятся в постоянном тесном взаимодействии. С одной стороны, климатические и погодные условия влияют на видовой состав и функционирование растительных сообществ, а с другой, растительность, определяя радиационный, тепловой, водный и

углеродный баланс поверхности, активно воздействует на климатическую систему [1, 2]. Растительность поглощает CO_2 из атмосферы при фотосинтезе и выделяет его в процессе дыхания. Активным природным источником CO_2 является почвенный покров. Надежная информация о потоках CO_2 и других парниковых газов крайне важна для понимания современных климатических тенденций и прогноза будущих климатических изменений.

Существующие на данный момент экспериментальные методы измерения потоков парниковых газов, такие как метод турбулентных пульсаций [3] и метод экспозиционных камер [2], имеют ряд ограничений и не позволяют оценить в полной мере пространственную неоднородность потоков над горизонтально неоднородной поверхностью с мозаичной растительностью. Для решения таких задач идеальным инструментом могут служить трехмерные процесс-ориентированные математические модели переноса парниковых газов, одна из которых и представлена в данной работе.

В качестве объекта исследования выбран болотный массив Старосельский мох (56.473° с.ш., 33.041° в.д., расположенный в зоне рационального природопользования Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника). В центральной части болота уже на протяжении 5 лет проводятся непрерывные измерения потоков CO_2 и H_2O методом турбулентных пульсаций (eddy covariance).

Используемая в работе трехмерная гидродинамическая модель является модификацией модели, представленной в [4]. Она позволяет вычислять осредненные поля скорости ветра, коэффициентов турбулентности и концентрации CO_2 , а также турбулентные и адвективные потоки CO_2 над неоднородной поверхностью с мозаичной растительностью. В основе модели лежит система усредненных уравнений Навье-Стокса и неразрывности для компонент скорости ветра, а также диффузии-реакции-адвекции для концентрации CO_2 с учетом эмиссии CO_2 с поверхности почвы, фотосинтеза и автотрофного дыхания растительности. В качестве входных данных используется информация о структуре растительности (ее высоте и плотности), преобладающем направлении ветра, его средней скорости, динамической скорости, влажности и температуре воздуха. Начальные и граничные условия определяются преобладающим направлением ветра над растительностью, и задаются в соответствии с условиями, которые имели бы место в случае горизонтально-однородной поверхности [5]. Для численного решения соответствующей начально-краевой задачи была разработана и реализована устойчивая неявная разностная схема с расщеплением по процессам.

Данные о структуре растительного покрова на исследуемой территории были получены в ходе наземных наблюдений, а также по данным дистанционного зондирования (Landsat 8 OLI с разрешением 30×30 м). В качестве входные метеорологических данных использовались метеорологические измерения в центральной части болотного массива. При различных направлениях ветра был произведен расчет пространственного распределения скорости

ветра с учетом неоднородности растительности, а также расчет вертикальных и горизонтальных составляющих турбулентных и адвективных потоков CO₂ у поверхности почвы и над лесом в дневных условиях. Верификация модели проводилась с использованием данных пульсационных измерений.

Литература

1. Будыко М.И. Изменения климата. Л.: Гидрометеиздат., 1974. 280 с.
2. Olchev A., Volkova E., Karataeva T., Novenko E. Growing season variability of net ecosystem CO₂ exchange and evapotranspiration of a sphagnum mire in the broad-leaved forest zone of European Russia// Environmental Research Letters. 2013. 8(3). 035051.
3. Aubinet M., Vesala T., Papale D. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis, Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2012. 438 p.
4. Mukhartova Yu.V., Dyachenko M.S., Mangura P.A., Mamkin V.V., Kurbatova J.A., Olchev A.V. 2019 Application of a three-dimensional model to assess the effect of clear-cutting on carbon dioxide exchange at the soil-vegetation-atmosphere interface // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 368, 012036.
5. Мухартова Ю.В., Мангура П.А., Левашова Н.Т., Ольчев А.В. 2018 Выбор граничных условий при моделировании процессов турбулентного переноса в приземном слое атмосферы // Компьютерные исследования и моделирование, Т.10. №1, С.27-46.

УДК 631.4

ПОСТАГРОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ В ЗОНЕ ЛЕСОСТЕПИ³⁷

Л.А. Овсепян, И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуццоно, lill.ovsepyan@gmail.com*

Вывод пахотных угодий из сельскохозяйственного использования запускает процесс постагрогенной эволюции, в ходе которого почвенный и растительный покровы претерпевают существенные изменения в направлении формирования зональных типов экосистем на бывшей пашне [1, 4]. Интенсивность накопления органического углерода (Сорг) зависит от периода восстановительной сукцессии, а вновь образованное органическое вещество (ОВ) будет характеризоваться иным соотношением функциональных пулов в своем составе [2]. Цель представляемого исследования состояла в анализе изменений денситометрического фракционного состава ОВ почв лесостепи в процессе их постагрогенного восстановления. Суть фракционирования сводится к разделению ОВ почвы на три основные группы: свободную

³⁷ Работа выполнялась в рамках государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № ААА-А-А18-118013190177-9) при поддержке РФФИ (проект № 18-04-00773а).

(fPOM), окклюдированную (oPOM) и органо-минеральную (mineral SOM), различающиеся плотности, составу и биодоступности [3].

Исследование проводили в зоне лесостепи в Белгородской (Haplic Phaeozem, заказник “Лес на Ворскле”) и Курской областях (Haplic Chernozem, заповедник “Стрелецкая степь”) в двух хронорядях, включающих современную пашню, залежи разного возраста и естественный ценоз. Фракционирование ОБ почв по плотности проводили в почвенных образцах, отобранных с глубин 0–5 см, в которых содержание Сорг было выше 20 г С кг^{-1} почвы. Для этой цели использовали растворы в поливольфрамата натрия разной плотности — 1.6 и 2.0 г см^{-3} . Содержание органического углерода в почве и различных фракциях ОБ определяли на автоматическом элементном анализаторе CHNS фирмы Leco (Leco Corporation, США).

Залежная сукцессия как на темно-серой почве, так и на черноземе миграционно-мицелярном сопровождалась наиболее заметным накоплением Сорг в слое 0–5 см, в 1.3–1.9 раза, соответственно. В почве под лесной растительностью увеличение содержания Сорг в значительной степени обусловлено биологической аккумуляцией ОБ за счет образования подстилки и непрерывного поступления органических веществ преимущественно в верхние слои почвы [1, 2]. В степном и луговом ценозах накопление Сорг происходит благодаря высокому количеству постоянно отмирающей подземной фитомассы. В почвах обоих хронорядов накопление Сорг наблюдали во всех денситометрических фракциях. Так, содержание Сорг фракции fPOM возросло в 2–6 раз, oPOM – в 1.4–2 раза, а mineral SOM – в 1.3–1.5 раза. В ходе залежной сукцессии в почвах обоих хронорядов в составе ОБ возросла доля fPOM (плотность $<1.6 \text{ г см}^{-3}$), в то время как доля oPOM (плотность $<2.0 \text{ г см}^{-3}$) практически не изменялась. Чтобы количественно оценить степень восстановления залежных почв, исследуемые свойства почв были нормализованы по отношению к средним значениям соответствующих свойств для почв под естественными ценозами. На черноземе под 60-летней залежью все изучаемые параметры были близки к уровню, характерному для некосимой степи. Восстановление изученных свойств пахотной темно-серой почвы за 45 лет залежного режима произошло не более, чем на 60% от уровня естественной почвы. Выявленные закономерности могут быть обусловлены меньшей длительностью постагрогенного периода: 45 лет на темно-серой почве против 60 лет – на черноземе миграционно-мицелярном. Таким образом, в зоне лесостепи постагрогенное восстановление содержания Сорг в почве и всех фракциях ОБ происходило значительно быстрее в черноземе, чем на темно-серой почве. Несмотря на приуроченность к одной биоклиматической зоне, исходные генетические различия почв и возобновление контрастных типов растительности на залежных землях были теми факторами, которые оказали определяющее влияние на скорость восстановления почв после прекращения сельскохозяйственного использования.

Литература

1. Владыченский А.С., Телеснина В.М., Чалая Т.А. Влияние поступления растительного опада на биологическую активность постагрогенных почв южной тайги // Вестник Московского университета. Сер. 17, почвоведение. 2012. № 1. С. 3–10.
2. Ерохова А.А., Макаров М.И., Моргун Е.Г., Рыжова И.М. Изменение состава органического вещества дерново-подзолистых почв в результате естественного восстановления леса на пашне // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1308–1314. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14110045>
3. Ларионова А.А., Золотарева А.Н., Евдокимов И.В., Быховец С.С., Кузяков Я., Бюггер Ф. Идентификация лабильного и устойчивого пулов органического вещества в агросерой почве // Почвоведение. 2011. № 6. С. 685–698.
4. Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani L. Postagrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // Catena. 2015. V. 129. P. 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016>

УДК: 574.4

МОДЕЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЭМИССИИ CO₂ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

А.В. Ольчев*, Е.В. Новикова*, А.В. Соколов, Ф. Мойано***,
А. Кноль*****

**Географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,
aoltche@yandex.ru*

***Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва*

****Отдел биоклиматологии, Институт Бюнгена, Университет Георга-Августа,
Геттинген, Германия*

Эмиссия CO₂ с поверхности почвы является важным компонентом глобального углеродного цикла. По существующим оценкам вклад почвы в интегральный поток CO₂ лесных экосистем может достигать 60-90% [1]. Для определения величины потоков, и оценки их пространственной и временной изменчивости в настоящее время используется множество как экспериментальных, так и модельных подходов [2-4]. Модельные подходы наиболее эффективны для определения эмиссии CO₂ с поверхности почвы в районах неохваченных мониторинговой сетью наблюдений, а также для оценки потоков в региональном и глобальном масштабе как при современных климатических условиях, так и при разных сценариях изменения климата в будущем [5].

Целью исследования является построение математической модели, описывающей изменение почвенного дыхания в зависимости от факторов внешней среды с учетом их сезонной изменчивости. Для построения и проверки модели использовались данные долговременных полевых наблюдений

за почвенной эмиссией CO₂ в хвойном и лиственном лесу в национальных парках Золлинг и Хайних в Германии.

В качестве определяющих факторов, влияющих на изменение почвенного дыхания (R_s) в зависимости от факторов внешней среды, в модели рассматривалась зависимость почвенного (автотрофного и гетеротрофного) дыхания от температуры (f_T) и влажности почвы (f_w). Кроме того, учитывалось и возможное изменение R_s в годовом ходе под влиянием биотических факторов (f_{ph}). В общем виде уравнение для R_s записывается как

$$R_s = R_{s(T=25^{\circ}\text{C})} \cdot f_T \cdot f_w \cdot f_{ph};$$

$$f_T = \exp \left[\frac{E_a (T - 298)}{298 \Re T_s} \right] \times \left[1 + \exp \left(\frac{298 \Delta S - H_d}{298 \Re} \right) \right] / \left[1 + \exp \left(\frac{T \Delta S - H_d}{T \Re} \right) \right];$$

$$f_w = 0.5 \cdot \tanh [(W - 0.2)/0.2] - 0.5 \cdot \tanh [(W - 0.95)/0.1];$$

$$f_{ph} = 0.6 + 0.4 \cdot \sin \left(\frac{2 \cdot 3.1416}{365} \cdot doy - \frac{doy_{opt}}{180} \cdot 3.1416 \right)$$

где: $R_s (T = 25^{\circ}\text{C})$ – значение R_s при температуре воздуха 25 °C, E_a – энергия активации, определяющая скорость экспоненциального увеличения R_s с ростом температуры; ΔS – фактор, характеризующий энтропию температурной зависимости R_s ; H_d – параметр, описывающий скорость уменьшения R_s при температурах выше заданного оптимума; $\Re$ – универсальная газовая постоянная; doy – порядковый номер дня в году; doy_{opt} – doy с максимальным влиянием биотических факторов на R_s .

Численные значения параметров модели оценивались методом наименьших квадратов по алгоритму Левенберга-Марквардта (см. таблицу). Коэффициенты детерминации R^2 , определяющие долю дисперсии, объясняемой предложенной моделью составили 0.77 для Золлинга и 0.63 для Хайниха при $p < 0.05$.

Параметры модели для елового и лиственного леса в Золлинге и Хайнихе

Параметр	Еловый лес в Золлинге	Лиственный лес в Хайнихе
$R_{s(T=25^{\circ}\text{C})}$	10.6	7.7
E_a	31008	35520
ΔS	652	652
H_d	202 000	202 000
doy_{opt}	116	139

Литература

1. Longdoz B., Yernaux M., Aubinet M. 2000 Soil CO₂ efflux measurements in a mixed forest: Impact of chamber distances, spatial variability and seasonal evolution // Global Change Biology, 6, P. 907–917.

2. Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, моделирование, общие оценки // Почвоведение. 2005 №9, С. 1112-1121
3. Aubinet M., Vesala T., Papale D. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis, Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2012. 438 p.
4. Yan Z., Bond-Lamberty B., Todd-Brown K.E., Bailey V.L., Li S., Liu C.Q., Liu C. 2018 A moisture function of soil heterotrophic respiration that incorporates microscale processes // Nature Communications, 9, 2562
5. Ольчев А.В., Авилов В.К., Байбар А.С., Белотелов Н.В., Болондинский В.К., Иванов Д.Г. и др. Леса Европейской территории России в условиях меняющегося климата. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 276 с

УДК 631

ПУТЬ К ЭФФЕКТАМ ПЛОДОРОДИЯ

В.И. Оноприенко

*Институт исследований научно-технического потенциала и истории науки им.
Г.М. Доброва НАН Украины, г. Киев, valonopr@gmail.com*

Проблема плодородия почвы – одна из сквозных жизненно важных проблем человечества на протяжении всей истории. Она не всегда решалась научно, но всегда содержала в себе многие рациональные знания и рекомендации, которые нередко соседствовали с мистическими и мифологическими представлениями.

Наука о питании растений и круговороте питательных веществ в земледелии – агрохимия – сложилась в XIX в. под активной ролью великого немецкого химика Юстуса Либиха в дискуссионной атмосфере как ответ на угрозы голода быстрорастущего населения Европы. У него было немало учеников из России, так что его наследие вместе с некоторыми его упущениями было известно в нашем отечестве. Убедителен афоризм Либиха: «Чтобы сохранить плодородие почвы, ей нужно возвращать все, у нее взятое. Если взятое не будет возвращено полностью, то нельзя рассчитывать на получение вновь таких же урожаев; урожаи могут быть повышены только путем увеличения содержания в почве элементов питания».

В России и СССР в XX веке, несмотря на многочисленные общественно-политические кризисы и коллизии, была сформирована индустриальная база производства удобрений, аналитическая система последовательного мониторинга баланса и дисбалансов питания продуктов растениеводства и животноводства, сформированы поколения специалистов, способных к трезвой критической оценке эффектов и недостатков в производстве сельскохозяйственной продукции и экономических факторов эффективности, подготовлены современные курсы и программы для специалистов отрасли.

В 1921 г. Я.В. Самойлов (1870-1925), самообытный минералог, геолог, палеобиогеохимик начала XX в., Московского сельскохозяйственного института, руководитель масштабной программы изучения фосфоритов Европейской России, основатель и первый директор Научного института по удобрениям (1919), впервые предложил термин «агрономические руды», который очертил контуры проблемы массового промышленного изготовления удобрений.

Академик Д.Н. Прянишников (1865-1948) исследовал механизмы усвоения растениями «аммиачного и нитратного азота», разработал научные основы применения минеральных удобрений, провел серию агрохимических опытов по культивированию растений в различных условиях, на различных почвах, с применением тех или иных агрономических приемов и минеральных удобрений. Их результаты помогли обосновать план развития и размещения туковой промышленности в России. В годы Великой Отечественной войны, институт ученого был эвакуирован в Среднюю Азию. Осуществленный Прянишниковым анализ кругооборота веществ в почве полей, занятых под хлопчатник, позволили обнаружить громадный дефицит азота, связанный с тем, что поля перестали периодически засеиваться хлебами. Прянишников рекомендовал вернуть посевы хлебов на хлопковые плантации в размере 25–30% площади. Предложенный им для Узбекистана новый севооборот позволил увеличить урожай хлопчатника вдвое. В то же время применение такого нового севооборота способствовало созданию в Средней Азии собственной зерновой базы.

Получение высоких, устойчивых урожаев достигается использованием знаний в области земледелия, почвоведения, растениеводства, физиологии растений и других дисциплин, но важнейшей среди них является агрохимия, которая способна оптимизировать минеральное питание растений, дающая возможность получения планируемого урожая. Нынешняя ситуация в постсоветских странах чревата новым кризисом продовольственной ситуации. Низкая урожайность сельскохозяйственных культур в значительной мере связана с дефицитом удобрений. Применение азотных удобрений в сельском хозяйстве снизилось по сравнению с 1990 г. почти в 10 раз, а фосфорсодержащих и калийных удобрений – более чем в 20 раз. В сложившихся условиях ежегодный вынос элементов питания из почвы с урожаем и сорняками в 6–8 раз больше, чем вносится с удобрениями. Острый недостаток необходимого элемента вызывает глубокие нарушения биохимических процессов обмена веществ, приводящих к снижению урожайности. Отсутствие поддержки со стороны государства вызывает опустынивание сельских районов. Дальнейшая эксплуатация пахотных земель России без принятия необходимых мер по воспроизводству их плодородия может привести к необратимым негативным процессам. Для повышения продуктивности земледелия и воспроизводства плодородия почв в обозримом будущем нет какой-либо альтернативы применению удобрений. Низкая урожайность в России является результатом

того, что из 18 млн. т минеральных удобрений, производимых в последние годы в стране, сельскому хозяйству поставляется лишь около 2,0 млн т, а остальные 16 млн т экспортируются. Лишение сельского товаропроизводителя серьезной государственной поддержки, повсеместные просчеты в аграрной политике России, большой диспаритет цен на продукцию села привело к массовому разорению хозяйств.

УДК: 551.583.7

ГОЛОЦЕНОВАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И АТМОСФЕРНЫЕ ПЫЛЕВЫЕ ПОТОКИ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: РЕКОНСТРУКЦИЯ НА ОСНОВЕ ВЕРХОВОГО ТОРФЯНИКА³⁸

Т.В. Пампура*, А.Н. Цыганов, О.В. Зарубина*****

**ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН»,
Пуцино, rampura@mail.ru*

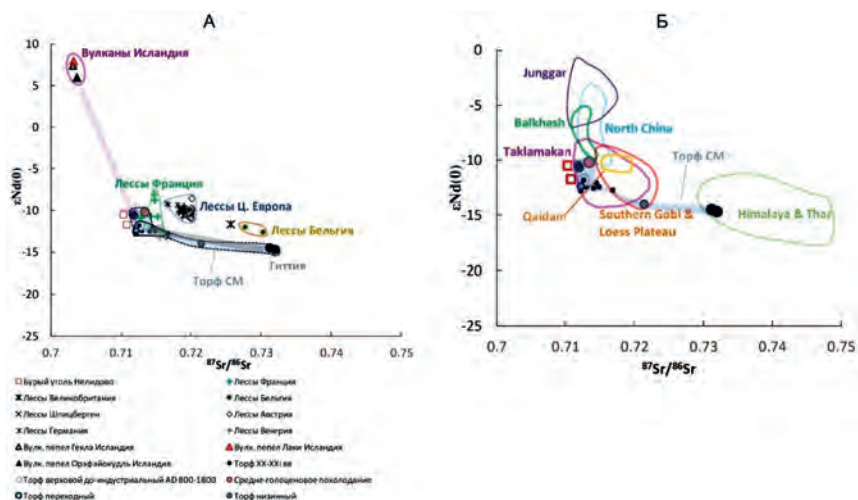
***Московский государственный университет им. В.М. Ломоносова, Москва,
andrey.tsyganov@bk.ru*

****Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, zarub@igc.irk.ru*

Реконструкция динамики климата на юге Валдайской возвышенности на протяжении Голоцена основывалась на анализе физико-химических (степень гумификации, скорость накопления, объемная плотность, зольность) и геохимических (концентрация литогенных элементов) характеристик омбротрофного торфяника Старосельский Мох. Были выделены семь периодов, различающихся по температуре, влажности и потокам пыли. Для анализа многомерных данных о химическом составе и физико-химических характеристиках торфа и визуализации основных закономерностей их изменения был использован Метод Главных Компонент. Анализ позволил выделить две основные группы переменных, в рамках которых была обнаружена значительная внутренняя корреляция элементов и их сходное поведение в профиле торфа. Первая группа (Yb, Lu, Tm, Ce, Pr, Er, Th, La, Ho, Dy, Nd, Tb, U, Y, Sm, Gd, Eu, Sc, Ti, Ta, Nb, Ga, Hf, Be, Li, V, Cs, Ni и Co) связана с внешними факторами, а распределение элементов по профилю определяется в основном осаждением пыли. Вторая группа объединяет элементы и характеристики (Cd, Zn, ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb, Sn, Sb, As, скорость аккумуляции торфа, Na, Pb, Cr, Mn, Cu, P, K) поведение которых в профиле определяется их биофильной природой, антропогенными эффектами или различиями в физико-химических характеристиках акротелма и катотелма.

Для определения источников пыли использовали изотопный состав Nd и Sr, который определяли в образцах торфа, а также в вероятных местных

³⁸ Работа поддержана грантом РФФИ № 18-05-01115а.



Изотопный состав Nd и Sr в торфе болота Старосельский Мох и некоторых потенциальных европейских (А) и азиатских (Б) источниках пыли (Gallet et al., 1998; Schatz et al., 2015; M. Thirlwall et al., 2004; Kokfelt et al., 2006; Nagatsuka et al., 2014).

источниках. Одним из них могла быть угольная пыль, связанная с разработками бурого угля в 40 км от болота (1949–1996 гг.) и существующими до настоящего времени угольными терриконами. Кроме того, в качестве до-антропогенного местного водосборного фона может рассматриваться залегающая в основании торфяного профиля гиттии – богатые органикой осадки пост-ледникового озера, имеющие возраст около 10000 лет. Полученные данные сравнивали с литературными данными по изотопному составу потенциальных удаленных источников пыли. Результаты показали, что возможными источниками пыли в изучаемом регионе в Голоцене могли быть европейские лессы (Франция) и пески пустыни Такла-Макан (Китай). Судя по направлению смещения изотопного состава в торфе относительно гиттии (серая стрелка на рисунке 2А), не исключено также влияние пепла вулканов Исландии, а составы Nd и Sr в торфе могли бы быть представлены как результат смешения крайних членов – местного усредненного литологического фона (гиттии) и исландского вулканического пепла.

Однако возможность переноса пыли из некоторых отдаленных источников вызывает сомнения и должна быть подкреплена метеорологическими моделями.

ЭВОЛЮЦИЯ УЧЕНИЯ О ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ: ОТ РАБОТ К.К. ГЕДРОЙЦА ДО НАШИХ ДНЕЙ³⁹

Д.Л. Пинский

*ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН»,
ИФХиБПП РАН, Пуцино, pinsky43@mail.ru*

Поглотительная способность почв (ПСП) играет исключительно важную роль в почвообразовании и функционировании почв в биосфере. Дискуссия о природе этой способности продолжалась более 270 лет, начиная с работ Г.С. Томпсона и И.Т. Уэя (1850). Важнейшим этапом ее завершения можно считать работы К.К. Гедройца 1906–1922 гг. [1], в которых он впервые систематизировал представления о ПСП, выделив пять ее видов: механическую, физическую, физико-химическую (обменную), химическую и биологическую. Причем физико-химическую ПСП он считал наиболее важной, на молекулярном уровне влияющей на все другие процессы, протекающие в почвах. Эта классификация является основой учения о поглотительной способности почв до настоящего времени. Вместе с тем современные методы исследования позволили существенным образом расширить и углубить наши представления о механизмах ПСП, по-новому взглянуть на процессы поглощения и трансформации вещества в почвах.

Исследование сорбции катионов ТМ почвами показало, что существует несколько механизмов взаимодействия их с поверхностью почвенных частиц: неспецифическое с образованием поверхностных внешнесферных комплексов, специфическое с образованием внутрисферных комплексов координационного типа и химическое с образованием поверхностных химических соединений. Эти механизмы существенно различаются по энергии взаимодействия с поверхностью почвенных частиц и играют разную роль в ПСП. Неспецифическое взаимодействие наиболее слабое дальнедействующее неселективное. Теплота взаимодействия 10–30 кДж·моль⁻¹. Реализуется при адсорбции одно-, реже двухзарядных катионов, например, Na⁺ или Mg²⁺ при образовании засоленных почв. Теплота специфической избирательной адсорбции составляет 100 кДж·моль⁻¹ и более. Происходит с образованием поверхностных внутрисферных комплексов. Характерна для поливалентных катионов, например, катионов тяжелых металлов (ТМ) и является одним из основных механизмов иммобилизации ТМ в почвах, снижения их подвижности и токсичности. В результате хемосорбции формируются поверхностные или приповерхностные осадки, возможна полимеризация, при которой

³⁹ Работа выполнена по теме Государственного задания № АААА-А18-118013190180-9 при финансовой поддержке РФФИ: проект № 19-29-05265 (50%).

образуются соединения со структурой минерала-хозяина или отличные от структуры минерала-хозяина в том числе за счет «эпитаксиального роста».

Опыт показывает, что большая часть изотерм адсорбции описывается уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха. Однако теоретические исследования показали, что процессы химического поглощения с образованием осадков малорастворимых соединений во многих случаях также описываются уравнением, идентичным уравнению Ленгмюра. Специальные эксперименты подтверждают возможность образования осадков малорастворимых соединений Cu(II), Pb(II), Zn(II) и Cd(II) в процессах ионного обмена и адсорбции. Методами XAFS показано, что адсорбированные катионы ТМ могут замещать катионы Al^{3+} в октаэдрических позициях глинистых минералов в случаях, когда размеры адсорбирующегося катиона близки к размерам Al^{3+} . Возможно также образование небольших многоядерных поверхностных неорганических комплексов – димеров или тримеров. Процесс этот более медленный поскольку осуществляется по более сложному механизму, чем адсорбция [2].

ПСП играет ключевую роль в трансформации органического вещества (ОВ) почв и формировании гумусовых веществ почвы. Здесь очень важную роль играет специфическая избирательная адсорбция ОВ. В результате сорбируемое вещество не только перераспределяется между минеральными компонентами, к которым оно имеет наибольшее сродство и стабилизируется в форме органоминеральных соединений, микро и макроагрегатов, но и трансформируется в более сложные гумусовые соединения, благодаря каталитическим свойствам органоминеральных частиц и стабилизированных ферментов [3]. Все эти процессы могут протекать одновременно, в результате чего изменяются устоявшиеся представления о постоянстве энергии взаимодействия и поглонительной способности почв.

Литература

1. Гедройц К.К. Учение о поглонительной способности почв // Избр. соч. М.: Сельхозгиз. 1955. Т.1. С. 242-383.
2. Пинский Д. Л., Минкина Т. М., Бауэр Т. В., Невидомская Д. Г., Манджиева С. С., Бурачевская М. В. Поглощение меди почвами и почвообразующими породами юга России // Геохимия. 2018. № 3. С. 280–289.
3. Kleber M., Eusterhues K., Keiluweit M., Mikutta C., Mikutta R., Nico P.S. Mineral-organic associations: formation, properties, and relevance in soil environments // Adv. Agron. 2015. V. 130. P. 1-140.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ROMUL_NUM

И.В. Припутина*, С.С. Быховец*, П.В. Фролов*, О.Г. Чертов**

**ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН»,
Пуцино, priputina@pbcras.ru*

***Бингенский технический университет, Бинген, Германия*

Имитационные модели играют важную роль в прогнозировании динамики органического вещества (ОВ) и запасов доступных элементов питания в почвах. В связи с задачами оценки вклада лесов в сток углерода и интенсификацией лесного хозяйства растет внимание к почвенным моделям, позволяющим имитировать условия лесных почв [1].

Почвенная модель Romul_Num [2] имитирует процессы минерализации и гумификации ОВ на основе характеристик почвенных горизонтов, состава растительного опада и с учетом эффектов жизнедеятельности почвенной биоты. С целью проверки чувствительности модели к качеству растительного опада, нами проанализированы результаты имитационных экспериментов по оценке динамики запасов С и N в лесной подстилке и органоминеральной части профиля серой лесной почвы под лиственным лесом в южном Подмоскowie.

Основные характеристики почвы, видовой состав древесного яруса и напочвенного покрова, а также данные о количестве и C/N разных фракций опада опубликованы ранее [3, 4]. Расчеты выполнены с использованием данных о температуре и количестве осадков для исследуемого региона за 1970–2010-х гг., полученных из литературы и открытых источников.

Результаты вычислительного эксперимента. В таблице приведены результаты для двух вариантов сценария растительных опадов. В первом (С.1) учтено поступление основных фракций опада древесного яруса – лислвы, ветвей и тонких корней. Во втором (С.2) дополнительно учитывается лиственной и корневой опад растений напочвенного покрова, но исключен опад ветвей. Количество ежегодного наземного и подземного (корневого) опада в С.1 составило 0.250 и 0.245 кг/м², а средние значения C/N – 49 и 42. Аналогичные показатели в С.2 – 0.214 и 0.249 кг/м² (массы опадов), 40 и 42 (значения C/N).

Рост запасов ОВ и в лесной подстилке, и в органоминеральной части почвы в варианте С.1 заметно выше, чем в варианте С.2. Это объясняется большим количеством поступающего наземного опада и характерными для него более высокими показателями C/N за счет фракции ветвей. Различия в суммарном накоплении ОВ в профиле исследуемой почвы между

вариантами С.1 и С.2 составили около 25%, при разнице масс суммарных опадов – менее 7%. Для азотного пула почвы различия между вариантами не столь существенны.

Оценки изменения запасов ОВ и азота (в среднем за имитационный период) для серой лесной почвы под осиново-широколиственным лесом по результатам вычислительных экспериментов с использованием модели Romul_Hum и двух вариантов сценария растительных опадов (С.1 и С.2)

Горизонты почвы	Органическое вещество			Азот		
	Начальный запас (кг C/м²)	Изменение (кг C/м² в год)		Начальный запас (кг N/м²)	Изменение (кг N/м² в год)	
		С.1	С.2		С.1	С.2
Лесная подстилка	0.250	0.014	0.008	0.010	0.0004	0.0002
Органоминеральные	7.174	0.047	0.039	0.581	0.0019	0.0020
Суммарно	7.424	0.061	0.046	0.591	0.0023	0.0022

Несмотря на примерно равное поступление корневого опада в вариантах С.1 и С.2, модель показывает меньшие скорости накопления ОВ для С.2, что адекватно отражает роль поверхностного опада в депонировании почвенного углерода в лесных экосистемах и зависимость интенсивности процессов минерализации ОВ от содержания азота (C/N) в растительных остатках. Сравнение полученных результатов с имеющимися оценками для исследуемой почвы [5] показало хорошее совпадение данных для варианта С.2.

Литература

1. Bradshaw C.J.A., Warkentin I.G. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux // *Global and Planetary Change*. 2015. V. 128. P. 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.02.004>.
2. Komarov A., Chertov O., Bykhovets S., Shaw C., Nadporozhskaya M., Frolov P., Shashkov M., Shanin V., Grabarnik P., Pripulina I., Zubkova E. Romul_Hum model of soil organic matter formation coupled with soil biota activity. I. Problem formulation, model description, and testing // *Ecological Modelling*. 2017. V. 345. P. 113–124. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.08.007.
3. Сапронов Д.В. Динамика поступления углерода в почву с опадом // *Лесные почвы и функционирование лесных экосистем. Материалы VIII Всерос. науч. конф. с междунар. участием*. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 303–305.
4. Припутина И.В., Быховец С.С., Фролов П.В., Чертов О.Г., Курганова И.В., Лорес-де-Гереню В.О., Сапронов Д.В., Мякшина Т.Н. Применение математических моделей ROMUL и Romul_Hum для оценки эмиссии CO₂ и динамики органического вещества в серой лесной почве под листовым лесом в южном Подмоскowie // *Почвоведение*. 2020. №10. (принята в печать)
5. Larionova A.A., Rozanova L.N., Yevdokimov I.V., Yermolayev A.M., Kurganova I.N., Blagodatsky S.A. Land-use change and management effects on carbon sequestration in soils of Russia's South Taiga zone // *Tellus B: Chem. Phys. Meteorology*. 2003. V. 55(2). P. 331–337. DOI: 10.3402/tellusb.v55i2.16718.

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОХРАНА ПОЧВЕННОГО РАЗНООБРАЗИЯ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

А.А. Присяжная*, В.В. Снакин*, **, О.В. Чернова, ***,
Г.В. Митенко*, ******

**Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пуцино,
alla_pris@rambler.ru*

***МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, snakin@mail.ru*

****Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва,
ovcher@mail.ru*

*****Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуцино, gen.mitenko@yandex.ru*

Система особо охраняемых природных территорий (ООПТ) – основной механизм сохранения природного разнообразия. Для обеспечения оптимальной охраны сеть ООПТ должна быть по отношению к исследуемым объектам максимально репрезентативной.

Попытки оценить репрезентативность существующей системы ООПТ в России предпринимались неоднократно [Тишков, 1995; Мельченко и др., 2004; Снакин и др., 2006; Присяжная и др., 2016]. Анализу репрезентативности системы ООПТ арктических регионов России и роли арктических ООПТ в сохранении редких и особо ценных видов растений и животных посвящена работа М.С. Стишова [2013].

Арктическая область России в биогеографическом отношении занимает территории с различающимися границами в соответствии с исследованиями Ю.П. Пармузина, А.А. Кищинского, Б.А. Юрцева и др. В данном исследовании проведена оценка представленности почвенного разнообразия в системе ООПТ федерального значения – государственные природные заповедники и национальные парки – на территории Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), сухопутные границы которой определены Указами Президента России.

В настоящее время площадь ООПТ федерального значения составляет 5,3% площади АЗРФ, для России в целом этот показатель ниже – 3,4%. На территории АЗРФ функционирует 12 государственных природных заповедников и 6 национальных парков. Заповедники занимают почти 55% площади всех ООПТ федерального значения, а национальные парки – 23%.

На основе Почвенной карты РСФСР [1988] в системе ArcView GIS была оценена репрезентативность заповедников и национальных парков в отношении почвенного разнообразия. Почвенные выделы были сгруппированы в соответствии с разделами легенды Почвенной карты.

Была проанализирована площадная представленность почвенного покрова на территории АЗРФ в целом и в пределах ООПТ. Почвенный покров

АЗРФ на 50% представлен комплексами почв Арктики, тундры и тайги; 19% составляют почвы тайги и хвойно-широколиственных лесов; 12% – почвы тундры; 12% – гидроморфные, пойменные, маршевые почвы и почвы горных территорий и 7% – непочвенные образования. Для почвенного покрова ООПТ АЗРФ эти показатели сходны, соответственно: 48%, 13%, 10%, 10% и 19%. Доля непочвенных образований на территории заповедников и национальных парков более чем в 2 раза больше, то есть, значительные территории ООПТ покрыты каменистыми россыпями, рыхлыми породами, песками и ледниками.

При анализе разнообразия почвенного покрова на территории АЗРФ выявлены 90 различных вариантов почв и почвенных комплексов, из них в системе ООПТ высшего уровня – 48. Таким образом, показатель репрезентативности ООПТ в отношении почвенного разнообразия составляет 53%. По России этот показатель несколько выше – 56%, при том, что относительная площадь ООПТ в Арктике выше, чем в стране в целом. В пределах ООПТ Арктики представлено 56% разнообразия почв тундр, 62% – почв тайги и хвойно-широколиственных лесов, 100% – гидроморфных почв, 60% – пойменных и маршевых почв, 40% разнообразия комплексов почв Арктики, тундры и тайги из всего спектра почвенных выделов, представленных на территории России в соответствии с Почвенной картой В.М. Фридланда.

В геоинформационной системе были построены картосхемы распространения на территории России 42 почв (выделов легенды Почвенной карты), не представленных в ООПТ АЗРФ. Установлено, что 26 из них встречаются только в Арктической зоне или их основные массивы расположены в АЗРФ. Некоторые из этих почв занимают обширные территории (более 40 тыс. км²), некоторые – очень маленькие (менее 500 км²).

Таким образом, на основании геоинформационного анализа определен показатель репрезентативности ООПТ в отношении почвенного разнообразия АЗРФ (53%) и оценена площадная представленность почвенного разнообразия на территории АЗРФ в целом, а также в пределах ООПТ. Установлено, что 26 почвенных выделов, встречающихся только в АЗРФ, не имеют территориальной охраны и могут быть рекомендованы для включения их в систему ООПТ. Проведен анализ каждого выдела с детальным исследованием конкретных территорий.

Литература

1. Мельченко В.Е., Хрисанов В.Р., Митенко Г.В., Юрин В.О., Снакин В.В. Ландшафтный анализ системы ООПТ России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2004. № 6. С. 101–104.
2. Почвенная карта РСФСР. Масштаб 1:2 500 000 / Гл. ред. В.М. Фридланд. – М.: ГУГК, 1988.
3. Присяжная А.А., Хрисанов В.Р., Митенко Г.В., Чернова О.В., Снакин В.В. Анализ почвенного разнообразия заповедников и национальных парков России (с учетом новых территорий) // Геодезия и картография. 2016. № 12. С. 7–15.

4. Снакин В.В., Веремеева А.А., Хрисанов В.Р. Ландшафтный анализ перспективной системы ООПТ России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2006. № 6. С. 108–115.
5. Стишов М.С. Особо охраняемые природные территории Российской Арктики: современное состояние и перспективы развития. – М.: WWF, 2013. – 427 с.
6. Тишков А.А. Охраняемые природные территории и формирование каркаса устойчивости // Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование. М., 1995. С. 94–104.

УДК 613.4

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА⁴⁰

О.В. Решоткин, О.И. Худяков

*ФИЦ ПНЦБИ РАН – Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН, Пущино, reshotkin@rambler.ru*

Каштановые почвы являются зональными почвами сухих степей умеренного пояса. Они формируются в семиаридных климатических условиях под сухостепной растительностью. В современной системе почвенно-географического районирования России [1] сухостепная зона разделяется на семь почвенных провинций, которые по особенностям температурного режима почв относят к четырем почвенно-климатическим фациям [2]. Цель настоящей работы – изучить динамику температуры каштановых почв различных почвенно-климатических фаций в связи с современным изменением климата.

В работе использованы данные наблюдений за осадками, температурой воздуха и почвы на четырех метеостанциях Росгидромета, характеризующих четыре различные почвенно-климатические фации каштановых почв: Буденновск (фация теплых кратковременно промерзающих почв), Ершов (фация теплых промерзающих почв), Славгород (фация умеренных промерзающих почв) и Борзя (фация умеренных длительно промерзающих почв). Для того, чтобы проанализировать реакцию температуры почвы на современное изменение климата, мы сравнили температуру почвы (среднегодовую, среднемесячную, среднюю за сезоны и за теплый и холодный периоды года), осредненную за период 2001–2013 гг. со средними значениями за период 1961–1990 гг. (климатическая норма). Аналогичное сравнение было проведено для температуры воздуха и осадков, чтобы определить, как изменились климатические условия на исследуемой территории.

Результаты исследования показали, что климатические условия формирования каштановых почв существенно различаются между фациями. Климатическая норма (КН) среднегодовой температуры воздуха уменьшается по

⁴⁰ Работа выполнена по теме Государственного задания № 0191-2019-0046.

направлению с запада на восток от 10.4 °С в Буденновске до 5.4 °С в Ершове, 2.1 °С в Славгороде и –2.4 °С в Борзе. За период 2001–2019 гг. среднегодовая температура воздуха увеличилась относительно КН на 1.0–1.3 °С, при этом в разные сезоны года температура воздуха увеличилась неодинаково. В Буденновске повышение среднегодовой температуры воздуха сопровождалось увеличением количества осадков, поэтому индекс аридности по де Мортонну, характеризующий степень сухости климата почти не изменился. Среднегодовая температура почвы увеличилась на всех глубинах на 0.6–0.8 °С. Сумма температур ниже 0 °С в почве на глубине 20 см уменьшилась на 36 °С, а сумма температур выше 10 °С увеличилась на 164 °С. Глубина проникновения температуры 0 °С в почву уменьшилась с 27 до менее 20 см. В Ершове на фоне повышения среднегодовой температуры воздуха, напротив, наблюдается уменьшение количества осадков, что способствует аридизации климата. Среднегодовая температура почвы увеличилась на 0.9–1.3 °С. Глубина проникновения температуры 0 °С в почву уменьшилась с 83 до 62 см.

В почвах умеренных азиатских фаций каштановых почв отмечается аналогичная тенденция повышения температуры, как и в почвах теплых европейских фаций. В Славгороде среднегодовая температура почвы на различных глубинах увеличилась на 0.7–1.1 °С. В верхней части почвенного профиля наиболее значительный рост температуры наблюдается в холодный период года, в то время как в летний сезон температура почвы несколько понизилась. Глубина проникновения температуры 0 °С в почву уменьшилась с 223 до 178 см. В Борзе среднегодовая температура почвы увеличилась на 1.1–1.2 °С. Сумма температур ниже 0 °С в почве на глубине 20 см уменьшилась на 273 °С, а сумма температур выше 10 °С увеличилась на 342 °С. Глубина проникновения температуры 10 °С в почву увеличилась с 102 до 119 см, температура 0 °С глубоко проникает в почву. В Славгороде и Борзе повышение температуры воздуха сопровождалось уменьшением количества осадков и, как следствие, аридизацией климата и формированием почвенных засух, что в свою очередь ведет к снижению эмиссии углекислого газа из почвы.

Выявленные изменения атмосферного климата и температурного режима каштановых почв позволяют по-новому оценить почвенные и агроклиматические ресурсы сухостепной зоны России для сельского хозяйства, с целью его адаптации и повышения устойчивости к изменениям климата.

Литература

1. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2500000 / Науч. ред.: Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. М.: «Талка+», 2013.
2. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004. 460 с.

МЕТАГЕНОМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ⁴¹

Е.М. Ривкина

ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пузино,
rivkina@issp.psn.ru

На основании сравнительного анализа аннотаций метабеномов много-летнемерзлых отложений и современных почв было показано, что генезис отложений во многом определяет состав генов микроорганизмов и белков, связанных с их жизнедеятельностью на момент последнего промерзания мерзлых толщ. Известно, что в отложениях озерного и морского происхождения, практически повсеместно присутствует метан (Rivkina et al, 2016). В этих же отложениях наблюдается более высокое содержание двухвалентного железа, чем в отложениях, чье формирование происходило в менее гидроморфных условиях (Ривкина и др., 2020).

Нами было показано, что в образцах, содержащих метан, в большем количестве присутствуют гены микроорганизмов метанового цикла: метаногены и метилотрофы.

На основании анализа аннотаций метабеномов в этих же отложениях были выявлены гены микроорганизмов, ответственных за железоредукцию. Показано, что в отложениях, сформировавшихся в более гидроморфных условиях и глееватом горизонте современной водораздельной почвы, доминирует филум *Proteobacteria*, к которому в основном относятся железовосстанавливающие микроорганизмы. Три рода этого филума: *Shewanella*, относящийся к классу *Gammaproteobacteria*, *Geobacter* и *Desulfuromonas* (класс *Deltaproteobacteria*) были шире представлены в глеевой почве и образце озерного происхождения, чем в отложениях ледового комплекса. Лабораторные эксперименты с железовосстанавливающими бактериями позволили выявить процесс микробного восстановления железа, причем, при температуре инкубирования 5 °C, наблюдалась большая активность образования Fe(II), чем при 20 °C (рис.). Из этого следует, что основная часть культивируемых сообществ железовосстанавливающих бактерий адаптирована к низким температурам многолетнемерзлых отложений. Такие психрофильные сообщества играют важную роль в цикле железа и деструкции органического вещества в холодных экосистемах.

⁴¹ Работа выполнена в рамках государственного задания АААА-А18-118013190181-6 и поддержана грантом РФФИ: 19-29-05003-мк.

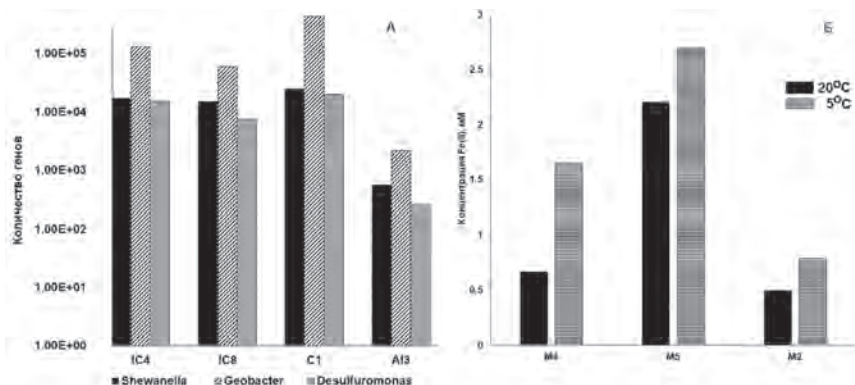


Рис. А – количество 16S рРНК генов железовосстанавливающих микроорганизмов в метабеномах: IC4 – отложения старичного озера, скв.4-07, протока р. Амболихи, IC8-ледовый комплекс (скв. 2-07, р. Омон); Б – образование двухвалентного железа в накопительных культурах при разных температурах. Образцы, представленные на рис. (б), отобраны из скв. 4-07, протока р. Амболихи: M2 с глубины 1.4 м, M4 с 17 м и M5 с 22 м.

Сравнительный анализ с использованием базы данных KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes) последовательностей метабенома, представляющего собой отложения старичного озера и позднелейстоценового ледового комплекса возраста 30000 лет, показал гомологию с генами, связанными с метаболическими путями, осуществляющими биогеохимические реакции, такие как денитрификация, и сульфатредукция.

Все эти реакции являются потенциалзадающими и могут создавать благоприятную окислительно-восстановительные условия для метанобразования. Можно предположить, что при потеплении климата, увеличении количества атмосферных осадков, повышении температуры мерзлоты и мощности сезонноталого слоя все биогеохимические процессы, связанные с трансформацией органического вещества и образования парниковых газов, будут играть еще большую роль.

Литература

1. Rivkina E., Petrovskaya L., Vishnivetskaya T., Krivushin K., Shmakova L., Tutukina M., Meyers A. and Kondrashov F. Metagenomic analyses of the late Pleistocene permafrost – additional tools for reconstruction of environmental conditions // Biogeosciences. 2016. V. 13(7). P. 2207–2219.
2. Ривкина Е.М., Федоров-Давыдов Д.Г., Захарюк А.Г., Щербакова В.А., Вишневская Т.А. Свободное железо и железовосстанавливающие микроорганизмы в почвах и многолетнемерзлых отложениях северо-востока Сибири // Почвоведение. 2020. No 10. (в печати)

ОБ ОБЪЁМЕ ПОНЯТИЯ «ПОЧВА»

Т.А. Романова*, Н.Н. Ивахненко**

**Почетный член Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, Минск,
Romanova.soil2017@yandex.ru*

***РУП «Институт почвоведения и агрохимии» Минск,
nadezhda_iva45@mail.ru*

Несмотря на высокий уровень развития почвоведения по отдельным направлениям, общее понятие почвы как таковой до сих пор остается в формулировке В.В. Докучаева трансформированной И.П. Герасимовым. Вместе с тем отмечается неудовлетворительное состояние содержания понятия «почва» [1]. В Беларуси выполнен цикл почвенных исследований, позволивший получить дополнительные характеристики, уточняющие общее представление о почве как таковой. Примером могут служить фактологические материалы, собранные в центральной части Восточно-Европейской равнины на Минской возвышенности в педоэкологическом ряду из восьми разрезов на пылевато-суглинистых породах под естественной растительностью. Выполнен полный комплекс фундаментальных исследований почв по стандартным методикам. Получено более 15 000 статических и динамических показателей, включающих химический состав почв, минералогический состав ила, микроморфологию с электронно-микроскопическими фотографированием, динамику влажности, температуры, окислительно-восстановительного потенциала и ферментов, а также физические модели химической дифференциации профилей и типы водного режима в соответствии с генезисом почв южной части гумидной зоны. Педоэкологический ряд, ранжированный по градиенту увлажнения, рассматривался как единый объект, а свойства – с позиции их проявления во всех членах ряда, независимо от генезиса почв, что позволяет выявить сущность почвообразования и почвы самой по себе. Исследования конкретными данными подтвердили положение об определяющей роли биоты, особенно микроорганизмов, как основного агента почвообразования; о биоэнергетической природе почвообразования и о водном режиме, как о самом существенном свойстве почв. Фактологические данные вместе с литературными положены в основу представления о почвообразовании, как превращении горной породы в почву, в следующих формулировках. Сущность почвообразования – мобилизуемое биотой взаимодействие внеземной энергии солнца, усваиваемой фито и зоомассой, земной энергии атмосферы в виде поступающей в почву влаги и энергии разложения минералов.

Явления почвообразования – деструкция, трансформация и разложение минералов субстрата; создание и разрушение органического вещества, содержание и передвижение влаги у дневной поверхности (водный режим).

Агенты почвообразования – биота (микрофлора и микрофауна, растения и животные, ферменты и другие биологически активные вещества), водный режим почв.

Сущность почвы – трансформация минералов почвообразующих горных пород, аккумуляция гумуса и влагообеспеченность в результате жизнедеятельности биоты, мобилизующей энергию солнца, атмосферы и разложения минералов. Как следствие – сущность педосферы – это концентрация микробиоты в субаэральных условиях.

Минералогический состав относится к наиболее значимой части почвы. В трансформациях исходных пород и первичных минералов возникают разнообразные по форме, организации и свойствам глинистые минералы, обеспечивающие энергетический баланс и определяющие физико-химические свойства и поглонительную способность почв.

Аккумуляция гумуса, групповой состав которого соответствует климатическим условиям, а фракционный – химизму почвообразующих пород. В гумусонакоплении осуществляется связь метаболизма живых существ с минералами почвы в процессах накопления и разложения формирующейся материи, с особой ролью ферментов – катализаторов этих процессов. Гумусообразование – это превращение «сырьевого ресурса» в сложный продукт, за счет мобилизации микробиотой энергии солнца, усваиваемой фито – и зоомассой, энергии атмосферы, в виде поступающей в почву влаги, и энергии разложения минералов. Это позволяет считать гумусонакопление, вместе с трансформацией минералов, доминантой почвообразования. Химический состав является источником информации о химической дифференциации профилей почв по генетическим горизонтам и через физические модели о генезисе почв и о типах водного режима, что обеспечивает его объективную идентификацию на основе лабораторных анализов. Этот подход можно считать попыткой объединить отдельно изучаемые почвенные подсистемы в единую почвенную систему и привести последнее, отчасти прогнозное, ее определение: Почва как таковая – фрагмент земной поверхности, преобразованный биотой в синергетическую систему, обладающую параметризованной информацией о естественных свойствах и биоэнергетическом потенциале (продукционной способности, плодородии).

Литература

1. Чуков С.Н. Яковлев А.С. Категории почвы и земли в современном законодательстве России. // Почвоведение. 2019. № 7. С. 891 – 898.

БЕСКОНТАКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ПОЧВ⁴²

И.Ю. Савин*, **, *, Е.Ю. Прудникова*, **, А.А. Воронин***

**Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, voronin_ayu@esoil.ru*

***Аграрно-технологический институт РУДН, Москва, prudnikova_eyu@pfur.ru*

****Белгородский государственный национальный исследовательский
университет, Белгород, savin_iyu@esoil.ru*

Мониторинг почв – это основной путь получения информации о современных изменениях почв во времени. Эта информация наиболее важна в прикладном почвоведении, где только комбинация информации о свойствах почв и направленности их изменений в настоящее время является надежной основой для принятия практических решений в области рационального использования почвенных ресурсов.

Существующая в стране система мониторинга почв сохранилась в усеченном виде еще с советского времени и нуждается в модернизации. В первую очередь это обусловлено развитием технических средств, цифровых и дистанционных технологий, а также появлением новых методов мониторинга свойств почв, в том числе и пространственного.

Наиболее перспективным является разработка технологий мониторинга, основанных на использовании бесконтактных методов, к которым относят методы, основанные на использовании спутниковых и БПЛА данных, данных о зондировании почв разными длинами волн: от ультрафиолетовых до инфракрасных и волн радиодиапазона. Подобные технологии могут быть использованы для создания оперативных, объективных, низкозатратных методов мониторинга свойств почв на больших территориях. Все эти методы основаны на знании закономерностей взаимодействия почв с электромагнитными волнами разной длины. В настоящее время установлены основные свойства почв, которые определяют отражение или поглощение почвами электромагнитных волн. Именно эти свойства и являются объектами мониторинга на основе данной группы методов. Но эти свойства почв, как правило, тесно коррелируют и с другими свойствами почв, что позволяет осуществлять мониторинг и других свойств почв, а также осуществлять поиск наиболее надежных инвариантов для мониторинга состояния почв.

Наиболее разработаны на настоящее время методы, основанные на использовании данных дистанционного зондирования земной поверхности (спутниковые, аэро-, БПЛА). Используются данные съемки в определенных диапазонах спектра электромагнитных волн, которые наиболее информа-

⁴² Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ №18-016-00052 и 19-05-50063, и гранта РНФ №20-67-46017.

тивны для детектирования того или иного свойства почв. Анализ неоднородностей изображения и их интерпретация с точки зрения свойств почв осуществляется на основе разнообразных статистических и математических методов автоматизированного по-пиксельного анализа, машинного обучения (регрессионный, дисперсионный, фрактальный анализ, метод машинных векторов, случайных лесов и т.п.) (Савин и др., 2019). Объем получаемой дистанционной информации и методы ее анализа в настоящее время намного опережают накопленные знания в области особенностей взаимодействия электромагнитного излучения со свойствами почв. Состояние исследований именно в этом направлении в настоящее время являются «узким горлом» в развитии рассматриваемых методов мониторинга почв.

Дистанционные методы позволяют надежно детектировать лишь некоторые свойства поверхности почв. Связь этих свойств с другими свойствами поверхности, а также со свойствами нижележащих горизонтов позволяет в некоторых случаях получать информацию и о других, в том числе подповерхностных свойствах почв. При увеличении длин волн, используемых для зондирования, появляется возможность прямого детектирования подповерхностных свойств почв. В этом направлении наиболее перспективным выглядит развитие георадарных методов исследования, использующих для зондирования почв волны радиодиапазона.

Опыт использования георадарного профилирования показывает, что эти данные позволяют надежно детектировать такие свойства почвенного профиля как, гранулометрический состав и его вертикальное варьирование, мощность гумусового горизонта и содержание гумуса, мощность торфянистой толщи, глубина залегания вечной мерзлоты, содержание влаги в почве, глубина залегания грунтовых вод и присутствие верховодки, каменистость почв и наличие включений, распространение корней в почве, засоленность почв, а также цвет подповерхностных горизонтов почвы (Воронин, Савин, 2020). На основе данных георадарного профилирования могут быть установлены некие инварианты, мониторинг которых позволит судить о состоянии почв в целом.

Таким образом, в настоящее время площадной оперативный мониторинг почв уже может осуществляться на основе современных цифровых технологий и технических средств бесконтактным методом, в том числе без вскрытия почвенного профиля разрезами.

Литература

1. Воронин А.Я., Савин И.Ю. Связь цвета подповерхностных горизонтов почв с данными георадарного профилирования // Почвоведение, 2020, №8
2. Савин И.Ю., Столбовой В.С., Иванов А.Л., Прудникова Е.Ю., Жоголев А.В., Воронин А.Я. Технологии составления и обновления почвенных карт. М.: Перо, 2019. 328 с.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ЮГА ТУВЫ⁴³

А.Д. Самбуу, Ю.В. Бутанаев

*Тувинский комплексный институт комплексного освоения природных ресурсов
СО РАН, Кызыл, sambuu@mail.ru*

Зональные почвы каштанового типа являются преобладающими в сухих степях Убсунурской котловины на юге Тувы. Образуют основной фон почвенного покрова на всех относительно низко расположенных (700–1200 м над ур. м.) территориях – на обширных древних террасах главных рек, в межгорных котловинах, на подгорных шлейфах, на «монгольском пенеплене» за р. Тес-Хем [1].

Физико-химические свойства почв исследованных нами степных экосистем, так же почв и других территорий котловины, определяются в основном, литологией почвообразующих пород, их положением в рельефе, растительностью.

Гранулометрический состав почв. Каштановые почвы подгорных равнин останцов Чоогей и Ямаалыга сформированы на элювиальных и элювиально-делювиальных отложениях, которые характеризуются небольшой мощностью и содержанием фракций <0,001 мм до 10% и <0,01 мм до 17%. Аллювиально-каштановые почвы, сформированные на террасах рек, в зависимости от местных условий почвообразования, характеризуются либо смешанным составом аллювиально-галечниковых отложений (Эрзин), либо имеют хорошо отсортированный литогенный материал (Морен). В распределении гранулометрических фракций отмечается слоистость, присущая аллювиально-озерным отложениям.

Свойственная почвообразующим породам щебнистость отмечается и в почвенном профиле как почв подгорных равнин (участки Чоогей и Ямаалыг) так и притеррасных территорий (участки Эрзин и Морен), хотя в почвах подгорных равнин содержание камней и гравия (фракция > 1 мм) невысокое (до 10%) и распределение их по почвенному профилю довольно равномерное.

Аккумулятивно-гумусовые горизонты почв подгорных равнин очень близки по составу гранулометрических фракций. Для них характерно невысокое содержание ила (4–13%) при абсолютном преобладании (до 75%) фракций крупного, среднего и мелкого песка. С глубиной в гранулометрическом составе почв участков отмечается возрастание фракций пыли (0,001–0,05 мм) и ила. Накопление тонких фракций особенно отчетливо проявляется в нижней части профиля почв участка Чоогей. В этих почвах на глубине 40–45 см и ниже формируются горизонты с высоким (до 46%)

⁴³ Исследования выполнены при поддержке РФФИ грант № 19-29-05208 мк.

содержанием пыли и до 22% ила, в то время как почвы участка Ямаалыг не дифференцированы по составу гранулометрический фракций. Различия почв участков по гранулометрическому составу обусловили их различия в водно-физических свойствах, особенно, как будет показано ниже, в способности накапливать и сохранять почвенную влагу.

Плотность почв. В тесной зависимости от гранулометрического состава почвенной массы, мощности гумусового слоя, выраженности карбонатного профиля находится характер распределения значений объемной массы исследованных почв. В соответствие с приведенным ранее морфологическим описанием, аккумулятивно-гумусовые горизонты каштановых почв подгорных равнин имеют довольно прочную комковато-зернистую структуру и невысокую (ОМ 1,1–1,25 г/см³) плотность. Вниз по профилю показатели ОМ существенно увеличиваются до 1,3–1,4 г/см³. Наиболее высокую плотность (ОМ 1,45–1,5 г/см³) имеют иллювиально-карбонатные горизонты этих почв. Вообще, профиль плотности каштановых почв имеет близкое сходство с их карбонатным профилем: в более тяжелых и уплотненных горизонтах содержание карбонатов увеличивается.

Значения плотности почв наших экспериментальных участков близки к показателям плотности целинных каштановых почв этой территории. В течение сезона мы проводили наблюдение за динамикой объемной массы почв, и в проведенных определениях не было обнаружено четкой зависимости влияния выпаса на увеличение почвенной плотности.

Естественная влажность. Почвенная влага в условиях засушливых степей является основным лимитирующим фактором формирования органического вещества почв [2, 3]. В теплый период выпадает 160 мм осадков, из них на период вегетации растений приходится 100–120 мм. Много почвенной влаги теряется на физическое испарение в довегетационный период. Поэтому для развития растений очень важно состояние увлажнения почвенного профиля. По данным, проведенных нами определений полевой влажности в течение вегетационного периода в почвах экспериментальных участков, как подгорных равнин, так и притеррасных территорий, содержание доступной для растений влаги очень низкое (3–5%). Влажность почв в момент максимального развития растений составляла 8–12%. Общим для гидрологических профилей этих почв свойством, является сильная иссушенность их аккумулятивно-гумусовых горизонтов. Наибольшему иссушению, до величин максимальной гигроскопичности и ниже, подвергался верхний 0–10 см слой. Различия в гидрологических профилях участков заключаются в разной степени увлажнения их почвенно-грунтовых толщ. Запасы влаги в слое 40–90 см в каштановой почве участка Ямаалыг составляли 75 мм, а в более тяжелой по гранулометрическому составу почве участка Чоогей – 130 мм. Причем различия гидрологического состояния почв участков сохраняются практически на протяжении всего периода вегетации растений.

В результате общее накопление растительного вещества на этих участках различается более чем в 1,2 раза.

Почвенное органическое вещество. Содержание гумуса. Запасы почвенного органического вещества определяются тремя основными факторами: количеством растительного вещества, поступающего в почву, скоростью минерализации растительных остатков и гранулометрическим составом почв. Вход углерода в почву с растительными остатками обусловлен величиной чистой первичной продукции [4].

Мы изучали особенности накопления фитомассы и поступления растительных остатков в почву на разных экспериментальных участках. Нами установлено, что в среднем за сезон на участке Ямаалыг в почву поступает 7,5 т/га, а на участке Чоогей – 11,5 г/га растительных остатков. Не касаясь процессов минерализации растительных остатков отметим, что почвы этих участков существенно различаются по содержанию гумуса. Аккумулятивно-гумусовые горизонты почв участка Ямаалыг содержат 0,8–1,1 % гумуса и 1,1–1,4% почв участка Чоогей. Соответственно запас Сорг в 0–50 см слое почвы участка Ямаалыг составляет 45 т/га и в почве участка Чоогей – 75 т/га, что свидетельствует о разной интенсивности гумусообразования в этих почвах. Причем по запасам гумуса в метровом слое почвы участка Чоогей приближаются к многогумусным подтипам.

Литература

1. Носин В.А. Почвы Тувы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 342 с.
2. Панкова Е.И., Черноусенко Г.И. Проблема активизации засоления в почвах юга Восточной Сибири и Монголии в связи с аридизацией климата // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 19-46. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-19-46
3. Волковинцер В.И. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука, СО РАН, 1978. 208 с.
4. Титлянова А.А. Первичная продукция и запасы гумуса в экосистемах // Проблемы почвоведения в Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. С. 47-53.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОФИЛЕ ГОРНЫХ ПОЧВ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

И.А. Самофалова

*Пермский государственный аграрно-технологический университета, Пермь,
samofalovairaida@mail.ru*

Интерпретация валового химического состава ведется на уровне сопоставления отдельных элементов или их пар. Геохимические коэффициенты помогают изучить и понять геохимию валового состава почв, дают дополнительную информацию о почвообразовательных процессах, позволяют диагностировать почвы в соответствии с современными подходами в классификации почв [1-3]. Цель исследования – выявить закономерности распределения породообразующих элементов в горных почвах для диагностики элементарных почвообразующих процессов (ЭПП).

Исследования проводили в «Государственном заповеднике «Басеги» на западном склоне Уральской горной страны в междуречье р. Усьвы и Вильвы (58°45'–59°00' с.ш., 58°15'–58°38' в.д.). Хребет Басеги приурочен к полосе устойчивых к выветриванию кварцито-песчаников осянкой свиты, относится к низкогорной области Среднего Урала. На различных элементах рельефа в наиболее типичных биогеоценозах заложены 12 почвенных разрезов (с 930 м до 315 м н.у.м.). Диагностика проведена по субстантивно-профильной классификации почв [4]. В пределах ключевого участка выделены типы почв: подзолы, подбуры, альфегумусовые, буроземы, серогумусовые, глееземы [5]. Валовое содержание элементов определено в институте почвоведения имени В.В. Докучаева (г. Москва) рентгенофлуоресцентным методом на приборе Респект с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе AgilentAES-4100.

Суммарное содержание Si+Al варьирует в почвах от 33 до 43%. По профилю почв данный показатель изменяется с постепенным нарастанием к породе. Более 40% кремнезема и глинозема содержится в горизонтах подзола. Установлено изменение показателя с высотой: в почвах гольцово-подгольцового пояса связь сильная и для верхних, и для нижних горизонтов ($r = 0,70$ и $0,85$ соответственно); в почвах паркового редколесья и горной тайги эта связь является средней и обратной ($r = -0,60$). Для гумусовых горизонтов является очень слабой. Таким образом, профили почв паркового редколесья и горно-лесного пояса более преобразованы по сравнению с породой ($r = 0,41$), чем почвы, формирующиеся на большей высоте, где связь между

верхним и нижним горизонтами профиля по содержанию Si+Al является более тесной ($r = 0,78$).

Отношение суммарного содержания кремнезема и глинозема к железу (Si+Al)/Fe изменяется в зависимости от условий формирования почв. В почвах на высоте более 700 м н.у.м. (тундра, криволесье) отмечаются самые широкие отношения (более 21,0); на высоте 590–690 м (луга) отношения уже (12,5–15,0); в парковом редколесье и горной тайге (315–590 м), отношения становятся шире и составляют 16,2–19,5. Варьирование указывает на комплекс ЭПП, характерных для определенных геоморфологических и климатогенных условий. Самые узкие отношения характерны для почв, формирующихся под луговой высокотравной растительностью, что диагностирует максимальное проявление дерново-лугового процесса. Изменение показателя в пределах профиля в сторону уменьшения диагностирует налагающиеся горизонтообразующие процессы: оглеение, ожелезнение; а в сторону повышения – элювирование, оподзоливание. Максимально широкое отношение характерно для подзола – более 21,0 единиц. Информационно-логический анализ изменения (Si+Al)/Fe в диагностических горизонтах (*AY, BM, E, G, BHF, C*) позволил выявить их специфичное состояние по данному показателю. Для гумусовых горизонтов почв характерно значение отношения менее 16 единиц (самые узкие); структурно-метаморфические горизонты *BM* и горизонт *C* характеризуются специфичным состоянием отношения в пределах 16–20 единиц; иллювиально-гумусово-железистые горизонты *BHF* – более 20 единиц. Глеевые горизонты имеют специфичное состояние отношения (Si+Al)/Fe менее 16 единиц. Общая информативность взаимосвязи высокая.

Таким образом, соотношение породообразующих элементов в почвах можно использовать для диагностики ЭПП, направления и типа почвообразования.

Литература

1. Кулижский С.П., Родикова А.В. Геохимическая дифференциация почв котловины озера Шира // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2009. № 3 (7). С. 103–108.
2. Русанова Г.В., Шахтарова О.В. Структурная организация и профильная дифференциация веществ в автоморфных почвах юго-востока большеземельской тундры // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 3 (19). С. 18–32.
3. Самофалова И.А., Лузянина О.А., Кондратьева М.А., Мамонтова Н.В. Элементный состав почв в ненарушенных экосистемах на Среднем Урале // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 5 (115). С. 67–74. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21572989>.
4. Полевой определитель почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
5. Самофалова И.А. Использование бассейнового подхода для изучения дифференциации растительного и почвенного покровов (хребет Басеги, Средний Урал) // География и природные ресурсы. 2020. №1. С. 175–184. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2020-1(175-184).

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПИРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ⁴⁴

Д.В. Сапронов

*ФИЦ ПНЦБИ РАН – Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН, Пущино, sadmvas@gmail.com*

Природные пожары являются острой проблемой по всему земному шару. Исследуются различные аспекты пожаров: экологические последствия, влияние на свойства почвы и экосистем и т.д. Однако, с позиций влияния на трансформацию растительной биомассы и скорость оборачиваемости углерода в экосистеме, пожары изучены слабо.

Исследования трансформации растительной биомассы в результате пожара проводились как в условиях естественных травяных палов на лугу и разновозрастных залежах на территории бывшей Опытной полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН г. Пущино Московской обл., так и в контролируемых лабораторных экспериментах.

В результате проведенных исследований установлено, что запас углерода биомассы к началу сезона палов в травянистых ценозах может составлять от 100 до 350 г С/м², в зависимости от типа ценоза. При пожаре эта величина потенциально может возгораться в атмосферу в виде углекислого газа и сажи. Для сравнения, количество СО₂, выделяющееся при дыхании луговых экосистем составляет 400–800 г С-СО₂/м² в год.

В условиях естественного пожара установлено, что потери биомассы составили 71%. При этом масса собственно углей, оставшихся на поверхности почвы, составила 22%, а на долю слабо обуглившегося материала приходилось около 7%. При сжигании как травянистой, так и древесной биомассы в контролируемых условиях потери углерода достигали от 55 до 90%. Не зависимо от типа биомассы при ее сжигании открытым способом потери углерода были большими, чем при сжигании закрытым способом (в муфельной печи). Сжигание биомассы в муфельной печи приводило к снижению потерь и, как следствие, количество биомассы, преобразовавшейся в углистые остатки возрастало, достигая 20–45%. Также установлено, что потери азота при сжигании биомассы были менее интенсивные, чем углерода. Абсолютные потери азота биомассы варьировали от 51 до 83%. В тоже время относительное содержание азота в углистых остатках увеличивалось в 1,5–3,5 раза по сравнению с исходной биомассой, в результате происходит изменение соотношения C/N в сторону сужения. Следовательно, условия горения

⁴⁴ Работа выполнена в рамках государственного задания рег. № 0191-2019-0045, и при поддержке гранта РФФИ 18-04-00773а

биомассы оказывают большее влияние на свойства углистых остатков, чем свойства исходной биомассы. Многообразие термических режимов, возникающих при пожаре, приводит к формированию углей с разными свойствами.

Показано, что растительные материалы, как в чистом виде, так и в смеси с почвой разлагаются интенсивнее, чем их углистые остатки. В течение первых шести месяцев древесина разлагается в 2,5–9,5 раз быстрее, чем ее угли. Травянистые материалы разлагаются быстрее, чем их углистые частицы в 9–87 раз. Добавление к почве углистых частиц практически не изменяло ее дыхательной активности.

Таким образом пожары приводят к значительной трансформации исходной биомассы, перераспределению углерода по пулам и ускоряют его оборот. С одной стороны, пожары способствуют преобразованию значительной части в CO_2 , возвращая его в атмосферу. С другой стороны, они увеличивают долю трудно разлагаемого органического вещества, поступающего в почву. Отсутствие легко доступных субстратов в углях не способствует их активному использованию микроорганизмами и росту микробной биомассы. Получающиеся при пожарах углистые остатки характеризуются высокой устойчивостью к разложению.

УДК 631.48

РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОКЛИМАТА В СЕРЕДИНЕ ГОЛОЦЕНА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОГРЕБЁННЫХ ПОЧВ БОЛЬШОГО КУРГАНА ЕССЕНТУКСКИЙ 1 В ПРЕДКАВКАЗЬЕ⁴⁵

А.Э. Сверчкова, О.С. Хохлова

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, acha3107@gmail.com*

Палеопочвенные исследования являются одним из основных путей получения достоверной информации об условиях природной среды прошлого. Ключевым вопросом современного палеопочвоведения является дискуссия о природной голоценовой эволюции почвенного и растительного покрова степной зоны Восточно-Европейской равнины. Со второй половины XX в. отмечается рост популярности исследований палеопочв, погребенных под археологическими памятниками, в частности, курганами, с целью реконструкции палеоклиматических условий былых эпох [1-5], а археологическое почвоведение развивается как самостоятельное научное направление [6].

⁴⁵ Работа выполнена по теме Государственного задания № 0191-2019-0046. Анализы почв выполнены за счет гранта Российского научного фонда, проект №16-17-10280, а также за счет финансирования со стороны ООО «Наследие» г. Ставрополь.

Проведенные нами работы посвящены изучению педохроноряда, погребенного под разными конструкциями в большом кургане Ессентукский 1 в Предкавказье, сооруженного представителями майкопской культуры во второй четверти IV тыс. до н.э. По археологическим данным курган возводился от 25, но не более 50 лет. За это время изменился морфологический облик и физико-химические свойства почв, а именно, происходило уменьшение мощности гумусового профиля и содержания органического углерода, возрастание содержания гипса, углерода карбонатов, перемещение зоны их аккумуляции вверх по профилю, трансформация форм карбонатных новообразований. Наиболее «засушливый» облик имеет почва, погребенная последней в изученном хроноряду: гумусовый горизонт наиболее светлый и содержание органического углерода в нем наименьшее, профиль наиболее сильно обогащен карбонатами, что проявляется как на макро-, так и микроуровнях наблюдения, отмечается наиболее высокое содержание обменного натрия и магния в составе обменных оснований, снижение величины магнитной восприимчивости и максимальные величины содержания гипса во втором метре профиля. За время строительства кургана произошла смена подтипа почв: черноземы типичные мощные среднесуглинистые на лессовидных карбонатных суглинках (Haplic Chernozems Loamic) эволюционировали в черноземы обыкновенные мощные (Calcic Chernozems Loamic). Палинологический анализ выявил сокращение площади лесов и увеличение доли травянистой растительности, ее остепнение и ксерофитизацию в регионе за изученное время. Климат рассматриваемого интервала (начало развития майкопской культуры в Предкавказье) характеризуется как аридный и более жаркий по сравнению с современностью.

Литература

1. Александровский А.Л., Белинский А.Б., Калмыков А.А., Корненевский С.Н., Вандер Плихт Й. Погребенные почвы Большого Ипатовского кургана и их значение для реконструкции палеоклимата // Материалы по изучению историко – культурного наследия Северного Кавказа. Вып. 2. Археология, антропология, палеоклиматология. 2001. С. 131–143.
2. Александровский А.Л., Хохлова О.С., Седов С.Н. Большой Ипатовский курган глазами почвоведов // Российская археология. 2004. № 2. С. 61-70.
3. Геннадиев А.Н. Почвы и время: модели развития. МГУ. 1990. 232с.
4. Губин С.В. Диагенез почв зоны сухих степей, погребенных под искусственными насыпями // Почвоведение. 1984. № 6. 5-13.
5. Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М.:Наука,1992. 144с.
6. Дергачева М.И. Археологическое почвоведение. Новосибирск, СО РАН. 1997. 227с.

НОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВЕННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ В ПАРАДИГМЕ ПОЧВЫ И ПОЧВООБРАЗОВАНИИ

А.М. Семенов^{*}, **, Д.А. Джукич^{*}, М. Лутовац^{****},
А.П. Глинушкин^{**}**

^{}Кафедра микробиологии биологического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова, Москва, atsetenov@list.ru*

*^{**}Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии.
Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вязёмы; glinale@gmail.com*

*^{***}Кафедра биологии, микробиологической биотехнологии и защиты
биопроизводств агрономического факультета в Чачку университета Крагујевац
32000 Чачак, Цара Душана 34, Сербия; djukicba@kg.ac.rs*

*^{****}Балканский научный центр Российской академии естественных наук,
Обильный венок 18, 11000 Белград, Сербия; gsmmtitar@gmail.com*

На планетах солнечной системы к концу первой четверти XXI века жизнь не обнаружена, нет? Другие планеты солнечной системы образованы из химических веществ и их геосфера имеет то, что на планете Земля, собирательно называют – грунт. На других планетах нет почв в том понимании и с теми функциями и качествами, которыми обладают почвы планеты Земля. Тот субстрат, который традиционно на планете Земля называют почвой, допустимо определить, как такой продукт, на котором и за счет которого могут расти растения. Доминирование физико-химических представлений о почвообразовании, объясняется доминированием геологического образования среди классики почвоведения. В геологии должна господствовать физика и химия, потому, что без «чистой» физики и химии невозможно познать неживую, физико химическую геосферу. В биологических процессах «господствует» биохимия, биофизика, как обобщающий их синтез – физиология и, наконец, клеточная биология, где «cellule e cellule». До сих пор при обсуждении почвообразовательного процесса принято ссылаться на описания, предложенные В.В. Докучаевым, П.А. Костычевым, В.И. Вернадским, Т.В. Аристовской, В.А. Ковдой, Г.В. Добровольским и др. Констатируют первостепенную значимость процессов выветривания материнских пород планеты. Констатируется процесс заселения поверхностей кристаллических пород планеты хемолито-автотрофными (анаэробными?) бактериями. Говорится о микроорганизмах, которые «воздействовали на скальные породы, разрушая их химически и физически, преобразовывая их в органо-минеральный субстрат пригодный для поселения высшей растительности и сопутствующей фауны, что приводило к образованию первоначальных примитивных почв» [1]. В таких реконструкциях, не может быть деталей процессов, тех «связующих деталей», на которые еще нет ответов, но без которых такие реконструкции остаются

довольно фантастическими. Деликатная попытка Заварзина Г.А., вторгнуться с биологическими осмыслениями в почвообразовательный процесс, осталась не замеченной [2]. Современную парадигму почвообразования (возникновения) тезисно, предлагается сформулировать так. Предлагается признать, что почва на планете Земля – это продукт жизнедеятельности биоты; признать, что почвообразование – это результат жизнедеятельности микроорганизмов, растений и другой биоты, а физико-химические процессы и законы, как всеобщие, все планетарные определяют закономерности протекания всех процессов; физико-химические процессы в неживой, неорганической сфере могут останавливаться. Живые процессы не останавливаются, могут «замирать», но движение постоянно. Жизнь – вечное движение, саморазвивающаяся циклическая система («вечный двигатель»), но в которой обязательно присутствует и смерть; в жизненных, живых, биологических процессах, скорости процессов синтеза обычно превосходят скорости процессов гидролиза. Происходит накопление органического вещества и образованием того вещества, которое называют гумусом, а потом – почвой [3]; как очевидное, все живое содержит в разных количествах, разные химические элементы. При отмирании живого, в силу физико-химических законов, неорганическая часть мертвого вещества не может исчезнуть бесследно, происходит постепенное не только накопление неорганики в виде продукта, но количественное доминирование неорганики над органикой. Только некоторые биофильные элементы могут временно физически «улетать»; роль выветривания в до-породообразующий период, заключалась в измельчении пород, в распространении и «внесении» в геосферу в виде микродоз «минеральных удобрений». В современных условиях роль выветривания выполняют разные виды эрозии почвенного покрова; роль бактериального выщелачивания уместно обсуждать только после возникновения на планете полноценного микробного сообщества. Предлагается вместо разнопонимого понятия – почва, употреблять – почвенная экосистема (ПЭ). С «холистской позиции», современную почву, следует рассматривать, как продукт длительной взаимной ассимиляционно-диссимиляционно жизнедеятельности микроорганизмов и растений в доминирующем минерально-органическом веществе [4]. Биологическая составляющая ПЭ выполняет функции: продукционные, сохранения и поддержания разнообразия биоты и др. Именно поэтому нормально, т.е. устойчиво и автономно функционирующую ПЭ, всеобъемлюще может характеризовать только здоровье (почвы), и ей присуща патология, диагностика, терапия, как и само воспроизводство, самообеспечение, динамичность [5].

Литература

1. Добровольский Г.В. и др.. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия. Колл. авторов. М.: Тов. научных изд. КМК. 2011. 273 с.
2. Заварзин Г.А. Эволюция прокариотической биосферы: «Микробы в круговороте жизни». 120 лет спустя. М.: МАКС Пресс. 2011. 144 с.

3. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. 2015. М.: ГЕОС. 233 с.
4. Семенов А.М., Джукич Д.А. Микробные сообщества в почвообразовательных процессах и здоровье почвы. В сборнике Эволюция биосферы с древнейших времен до наших дней. Серия «Гео-биологические системы в прошлом». ПИН РАН Москва, 2019. с. 171-189.
5. Семенов А.М., Семенова Е.В. Почва как биологическая система и ее новая категория – здоровье // Успехи современной биологии. 2018. Т. 138. № 2. с. 115–125.

УДК 631.417.2

ПОЧВЕННАЯ СЕКВЕСТРАЦИЯ УГЛЕРОДА КАК НАПРАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТАВА, ДИНАМИКИ И ФУНКЦИЙ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА⁴⁶

В.М. Семенов

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
– ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, v.m.semenov@mail.ru*

Глубокое обезуглероживание (decarbonization) промышленности, энергетики и транспорта и тотальное обуглероживание (recarbonization) наземных экосистем – равноправные программы мер по недопущению роста концентрации CO_2 в атмосфере. Декарбонизация предусматривает уменьшение объемов сжигания ископаемого топлива и прямое улавливание CO_2 из газовых выбросов промышленных производств. Рекарбонизация наземных экосистем обеспечивает секвестрацию атмосферного углерода и достигается посредством рефорестеризации, повышения биопродуктивности сельскохозяйственных культур и проградационного регумусирования почвы. Под почвенной секвестрацией углерода понимается целенаправленный перевод C-CO_2 из атмосферы в биомассу растений с последующим включением экссудатов, растительных остатков (РО) и других органических материалов в почвенное органическое вещество (ПОВ) с минимальным риском немедленного возврата в атмосферу. К почвенной секвестрации углерода применимы понятия стабилизации, сохранения и накопления $\text{C}_{\text{орг}}$ в почве, но лишь касательно новосинтезированного органического вещества, полученного с реальным изъятием C-CO_2 из атмосферы. Секвестрируемый углерод может преимущественно использоваться в текущих почвенных процессах или, наоборот, депонироваться. В первом случае поддерживается активное разложение РО, продукты трансформации которых не только повышают функциональность и плодородие почвы, но и быстрее и прочнее стабилизируются в почве. Во втором случае использование медленноразлагаемого рас-

⁴⁶ Работа выполнена в рамках темы Государственного задания № 0191-2019-0045.

тительного материала и приемов, замедляющих оборачиваемость почвенного $C_{орг}$, обеспечивают долговременное запасание $C_{орг}$ в почве и минимальную эмиссию, но без значимого повышения почвенного плодородия.

Темпы и размеры почвенной секвестрации $C_{орг}$ зависят не только от количества и качества поступающего в почву органического материала и экологических факторов, контролирующих разложение РО, но и от скорости и прочности стабилизации органических компонентов в почве. Преобразование РО в ПОВ включает этапы физической фрагментации биомассы с образованием твердых дискретных частиц, вымывания растворимых соединений, синтеза микробной биомассы, деполимеризации биополимеров и минерализации мономеров из числа продуктов разложения остатков и микробных метаболитов. Образующиеся при разложении РО твердые частицы органического вещества физически стабилизируются путем окклюзии и образования агрегатов, а вымываемые из РО соединения вместе с растительными и микробными биополимерами и мономерами объединяются в гуминовые вещества или химически взаимодействуют с поверхностью минеральных частиц, образуя гумус, относящийся к стабильной части ПОВ. Слабо разлагаемые РО являются основным источником твердых дискретных частиц, на долю которых приходится до 20–48% от всего $C_{орг}$ в почве, а сильно разлагаемые остатки дают больший прирост микробной биомассы в почве.

Исходная прочность биополимеров и физическая стабилизация органического вещества создают краткосрочную и среднесрочную защищенность $C_{орг}$ от нескольких лет до десятилетий, тогда как долговременное сохранение компонентов ПОВ в течение сотен и тысяч лет обеспечивается химической стабилизацией органических соединений с минеральной частью почвы. Поэтому секвестрированным следует считать лишь тот $C_{орг}$, который ассоциирован с фракциями пыли и глины размером <0.05 (0.02) мм. Количество стабилизированного и защищенного от разложения $C_{орг}$ в почве характеризует углеродпротекторную емкость почвы, величина которой контролируется гранулометрическим и минералогическим составами почвы. Допускается, что чем выше в почве доля частиц пыли и глины, тем выше углеродпротекторная емкость. Углеродпротекторная емкость почв уменьшается в следующем ряду: бурая лесная кислая = чернозем = луговая слитизированная > серая лесная = каштановая > бурая полупустынная > дерново-подзолистая. Максимальная углеродпротекторная емкость среди разных типов почв не превышала 35 г С / кг.

Каждому типу почвы свойственен порог насыщения органическим углеродом, выше которого поступление свежего органического вещества не приводит к дополнительному накоплению $C_{орг}$. Серые лесные и каштановые почвы относятся к мало насыщенным органическим углеродом, луговая слитизированная и пойменная луговая – к умеренно насыщенным, а все подтипы чернозема – к насыщенным. Углеродсеквеструющий потенциал серой лесной почвы составляет около 30 т С / га, каштановой – не превышает

25 т С / га, луговых почв равен 15–20 т С / га, а черноземов – менее 5 т С / га. Таким образом, высокая степень насыщения органическим углеродом распространенное явление для многих почв, а верхний 0–20 см слой имеет довольно ограниченный потенциал секвестрации. Эмпирическое определение порога насыщения органическим углеродом, свойственного каждому типу почвы, становится ключевой задачей в программах секвестрации углерода в рамках инициативы «4 промилле».

УДК 579.26:631.46

МЕТАГЕНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВЫ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ⁴⁷

М.В. Семенов

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, semenov_mv@esoil.ru

В современных почвенно-экологических исследованиях одним из центральных подходов является метагенетический анализ почв, основанный на метабаркодинге – идентификации таксономического состава сообщества из образцов окружающей среды путем амплификации и высокопроизводительного секвенирования последовательностей маркерных генов-баркодов. Метагенетический анализ предоставляет прямой доступ к колоссальному генетическому разнообразию «некультивируемого большинства» микроорганизмов в почве и позволяет оценить широкий ряд молекулярно-генетических показателей почвенной биоты: состав, разнообразие, а также численность рибосомальных и функциональных генов и/или транскриптов генов. При величине покрытия свыше 100 тысяч чтений на образец после удаления ошибок, химер и синглтонов, в серых и черноземных почвах идентифицируется до 3000 «видов» (уникальных RSV) бактерий, относящихся к 250 родам. Несмотря на широкое распространение метагенетического анализа в изучении микробиома почв, остается не ясным, какое состояние сообщества описывает данный подход, какова его эффективность при оценке биологического состояния и экологических функций почв, и какими ограничениями он обладает.

В рамках комплекса исследований дерново-подзолистых и серых лесных почв показано, что таксономическая структура микробиома почвы, проанализированная в течение вегетационного периода, является достаточно устойчивой во времени. Количественные показатели микробного сообщества – биомасса, численность рибосомальных и функциональных генов и транс-

⁴⁷ Данная работа подготовлена при поддержке РФФИ, проект No 19-04-00315.

криптов, напротив, характеризуются временной динамикой с максимумом в летний период. Между количеством копий генов *nifH*, *nirK* и *nirS* и суммой рибосомальных генов выявлена устойчивая линейная зависимость. При систематическом внесении минеральных удобрений, несмотря на высокую численность *nifH* генов в почве, потенциальная азотфиксация становится равной нулю независимо от срока отбора. Активность потенциальной и актуальной денитрификации также не коррелирует с численностью копий генов или транскриптов *nirK* и *nirS*. Более того, в большинстве случаев более высоким значениям численности копий генов, ассоциированных с денитрификацией, соответствовали наименьшие величины потенциальной и актуальной активности этого процесса. В почве лесной экосистемы микробная биомасса, численность рибосомальных и соответственно функциональных генов были самыми высокими, но присутствие этих генов не сказывалось на активности денитрификации.

Несмотря на отсутствие явной связи с микробиологической активностью и низкую изменчивость во времени, метагенетический анализ оказывается эффективным индикатором изменений в тех случаях, когда речь идет о значительных нарушающих воздействиях или больших временных промежутках. Метабаркодинг микробиома разновозрастных позднелейстоценовых палеопочв на среднерусской возвышенности показал, что численность копий генов микроорганизмов последовательно уменьшается с увеличением возраста почвы. Соотношение филумов *Verrucomicrobia* и *Nitrospirae* оказалось диагностическим показателем, указывающим на обеспеченность органическим веществом, а также на изменения в циклах углерода и азота. По сравнению с современным черноземом и палеопочвами межледниковья, соотношение *Verrucomicrobia*/*Nitrospirae* в интерстадиальных почвах было меньше в 140–200 раз. Современный чернозем и палеопочвы межледниковья имели схожие значения микробного разнообразия, тогда как в палеопочвах интерстадиалов разнообразие микроорганизмов было значительно ниже.

Полученные в ходе многочисленных исследований результаты показывают, что почвенный микробиом наиболее отзывчив при эвтрофикации почв субстратом, например, при внесении минеральных и органических удобрений. Длительное внесение органических удобрений увеличивает численность и разнообразие ризосферных микробных сообществ, тогда как использование NPK, напротив, снижает микробное разнообразие в ризосфере. Метагенетический анализ демонстрирует, что система удобрения является более важным фактором формирования ризосферного микробиома сельскохозяйственных культур, нежели сами растения.

Таким образом, метабаркодинг является мощным аналитическим инструментом оценки биологических показателей почвы, основанных на структуре микробиома. Микробные сообщества могут выступать в качестве стратиграфических маркеров различных климатических условий, в которых формировались почвы, или индикаторов изменений питательного режима

почв. В то же время, эффективность метагенетического анализа зависит от исследовательской задачи и дизайна эксперимента. Функциональные гены и транскрипты генов являются функцией численности микроорганизмов и общей микробной биомассы, а их абсолютные значения, по-видимому, не могут быть предиктором активности ассоциированных с ними процессов.

УДК: 661.183.2; 631.42; 636.085

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ МИГРАЦИИ ГЕРБИЦИДОВ В ПОЧВАХ С ПОМОЩЬЮ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ

Ю.Я. Спиридонов*, В.М. Мухин**

**Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
Московская обл., Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, spiridonov@vniif.ru
**АО «Электростальское НПО «Неорганика», Московская обл., г. Электросталь,
victormukhin@yandex.ru*

В отделе гербологии ФГБНУ ВНИИ фитопатологии в лаборатории искусственного климата (ЛИК) были проведены исследования эффективности детоксикации метсульфурон-метила (Зингер, СП) в почве различными типами активных углей, полученных в АО «ЭНПО «Неорганика». В качестве тест-растение использовали рапс. Результаты исследования приведены в таблице.

№	Вариант	Зингер, СП, г/га	Надземная масса тест-растений, г						Снижение надземной массы тест-растений, % к контролю
			по повторностям					средняя	
			1	2	3	4	5		
1	РАУ из соломы рапса, 200 кг/га	0,5	5,2	5,0	5,6	5,3	5,9	5,4	3,6
2	РАУ из соломы рапса, 200 кг/га	-	6,8	5,3	6,4	6,6	6,1	6,2	-10,7
3	РАУ из скорлупы кокоса, 200 кг/га	0,5	4,3	4,7	4,9	5,7	4,8	4,9	12,5
4	РАУ из скорлупы кокоса, 200 кг/га	-	5,8	5,5	4,8	5,7	6,0	5,6	0
5	РАУ из косточки абрикоса, 200 кг/га	0,5	5,0	5,1	5,0	4,7	4,8	4,9	12,5
6	РАУ из косточки абрикоса, 200 кг/га	-	5,8	5,7	5,3	5,9	5,5	5,6	0
7	РАУ из древесного угля, 200 кг/га	0,5	5,2	4,8	5,1	5,7	5,3	5,2	7,1
8	РАУ из древесного угля, 200 кг/га	-	5,4	5,7	5,6	4,7	4,9	5,3	5,4

9	РА У из опилок, 200 кг/га	0,5	6,2	6,4	6,6	5,9	6,4	6,3	-12,5
10	РА У из опилок, 200 кг/га	-	6,4	7,8	6,6	6,7	6,6	6,8	-21,4
11	АУ из угольно-пековой композиции, 200 кг/га	0,5	7,9	8,6	8,2	8,3	8,2	8,2	-46,4
12	АУ из угольно-пековой композиции, 200 кг/га	-	7,9	8,6	9,2	8,5	8,4	8,5	-51,8
13	Контроль (Зингер)	0,5	1,4	1,5	2,2	1,9	1,4	1,7	69,6
14	Контроль (дерново-подзолистая почва)	-	5,8	5,5	5,4	5,8	5,4	5,6	0

Примечание: отрицательные значения стимуляция роста тест-растений.

Из результатов, приведенных в таблице, следует:

1. Все активные угли, как на основе растительных отходов (опыты 1–2), так и уплотненного растительного сырья – скорлупы орехов и косточек плодов (опыты 3–4, 5–6, а также древесных отходов (опыты 7–8, 9–10) и угольно-пековой композиции (11–12) показали достаточно хорошее сохранение наземной массы растений на загрязненной гербицидом почве в дозе 200 кг/га.

2. Активные угли на основе скорлупы орехов и косточек плодов, а также опилок, обеспечивают эффективную детоксикацию почвы за счет высокой величины адсорбции, обусловленной развитием объема микропор.

3. Активные угли на основе растительных отходов и древесного угля обеспечивают эффективную детоксикацию за счет хорошей кинетики адсорбции, обусловленной хорошим развитием транспортной пористости (объемом мезо- и макропор).

4. Активный уголь на основе угле-пековой композиции показал не только самый низкий процент снижения наземной массы тест-растения, но и обеспечил самый высокий показатель стимуляции роста тест-растения, что обусловлено сочетанием в нем как высокой поглотительной способности за счет развития объема микропор, так и хорошей кинетики адсорбции, обусловленной достаточным развитием объема транспортных пор. Сочетание этих двух факторов и дало синергетический эффект сохранения наземной массы тест-растения.

Во всех случаях достигнутый столь значимые результаты обусловлены тем обстоятельством, что активные угли сорбировали гербициды и предотвращали их миграцию к высеваемым семенам и развиваемой корневой системе.

АО «ЭНПО «Неорганика» совместно с ВНИИ фитопатологии РАН разработана уникальная технология защиты магистральных нефте- и газопроводов от разрушения корневой системой сорной растительности с одновременным решением вопроса защиты сопредельных почв от поражения гербицидами. Суть данной технологии состоит в экранировании обрабатываемой гер-

бицидами трассы нефте- и газопроводов активным углем по технологии «Агросорб». При этом активный уголь поглощает из почвенного раствора мигрирующие с дождевыми и грунтовыми водами гербициды, не допуская их попадания в сопредельные почвы сельхозугодий или лесов, т.е. предотвращая ущерб растениям. Это позволит избежать выплаты штрафов за нанесение ущерба экосистемам.

Литература

1. Мухин В.М. Экологические аспекты применения активных углей // Экология и промышленность России. Декабрь 2014. С. 52-56
2. Спиридонов Ю.Я., Мухин В.М. Оздоровление почв, загрязненных пестицидами, с помощью угледсорбционных технологий // Международный научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука», – т. 2, 2019. – С. 156-159

УДК 004.942:631.92

МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СТРАТЕГИИ СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА⁴⁸

О.Э. Суховеева

Институт географии РАН, Москва, olgasukhoveeva@gmail.com

Сельское хозяйство находится на втором месте после сжигания ископаемого топлива среди источников парниковых газов (ПГ) для атмосферы. При отсутствии единой методики оценки потоков ПГ от этого сектора экономики, единственным способом экстраполяции данных в пространстве и времени является моделирование.

Разработан мультимодальный подход, суть которого заключается в совместном использовании имитационных моделей, углеродных калькуляторов и статистических методов для анализа источников, причин и интенсивности эмиссии ПГ в растениеводстве и животноводстве, а также поиска путей ее снижения.

Новизна подхода заключается в том, что он учитывает разнообразные факторы и источники эмиссии, обращает внимание на минорные аспекты, часто ускользающие из внимания при масштабных исследованиях, в том числе:

- Комплексное использование имитационных моделей, калькуляторов парниковых газов, статистической оценки,
- Сочетание расчетных, лабораторных и полевых мониторинговых исследований,
- Учет природных и антропогенных факторов формирования эмиссии ПГ,

⁴⁸ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 2076-00023), а также в рамках темы госзадания ИГ РАН (№ 0148-2019-0009).

- Измерение и анализ природных и антропогенных потоков трех ПГ,
- Рассмотрение двух отраслей – растениеводства и животноводства,
- Охват всех типов земель сельскохозяйственного назначения: пашен, сенокосов, пастбищ,
- Объектами исследования выступают как модельные участки, так и реальные хозяйства, расположенные в различных природно-климатических зонах и экономических районах.

Использование имитационных моделей для оценки эмиссии ПГ от сельского хозяйства рекомендуется РКИК ООН в качестве альтернативы методикам МГЭИК, а также ФАО. В качестве подобных оценочных моделей в рамках разработанного подхода предлагаются:

- углерод-азотная DNDC (DeNitrification-DeComposition), которая апробирована и успешно применяется на национальном уровне во многих странах мира для оценки эмиссии трех основных ПГ от растениеводства. Ранее DNDC была нами верифицирована и скорректирована, разработана методика ее применения в России.
- углеродная RothC (Rothamsted long term field experiment Carbon model), которая широко применяется в мире и нашей стране и позволяет воспроизвести эмиссию CO_2 от растениеводства.

Распространенные углеродные калькуляторы EX-ACT, CoolFarmTool, FarmCarbonToolkit и AgRE-Calc оценивают углеродный след (по трем ПГ в переводе на CO_2 -эквивалент), что особенно актуально в животноводстве. Они работают онлайн и пригодные для использования в любой стране на уровне хозяйства.

Статистические методы, корреляционный и регрессионный анализы, позволяют оценить связь эмиссии с погодными факторами и их влияние на нее.

Машинные эксперименты с моделями и калькуляторами позволяют:

- определить природные и антропогенные факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на эмиссию ПГ из почв сельскохозяйственного назначения (пашен, сенокосов, пастбищ),
- обосновать необходимые для сокращения эмиссии ПГ изменения в технологии производства продукции растениеводства и животноводства и оценить эффективность разработанных мер,
- экстраполировать полученные результаты на субъекты РФ на основе официальной статистической информации.

Методика позволяет решить проблему количественной оценки потоков ПГ в отраслях сельского хозяйства, проанализировать причины их формирования и возможных путей поглощения, а также разработать практические рекомендации по снижению их эмиссии.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПРИ ЗАРАСТАНИИ ПАШЕН И ПОВТОРНОЙ РАСПАШКЕ ЗАЛЕЖЕЙ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ⁴⁹

О.Э. Суховеева*, И.Н. Курганова**

**Институт географии РАН, Москва, olgasukhoveeva@gmail.com*

***Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино*

Изменения землепользования находят отчетливое отражение в динамике запасов органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в почвах. Перевод пахотных земель в залежные и их последующая повторная распашка активно проходили на Европейской территории России (ЕТР) в последние три десятилетия. Цель исследования состояла в оценке с помощью модели RothC (Rothamsted Long Term Field Experiment Carbon Model) скорости изменения запасов $C_{\text{орг}}$ при зарастании пахотных земель и их повторной рекультивации.

Объектами исследования служили три хроноряда пост-агрогенных почв, расположенных в различных природно-климатических зонах ЕТР: южно-таежной (Костромская обл., дерново-подзолы), лиственно-лесной (Московская обл., серые лесные почвы) и лесостепной (Белгородская обл., темно-серые лесные почвы). В качестве входных данных для моделирования использовались как результаты собственных измерений, так и сведения из литературы и официальной статистики.

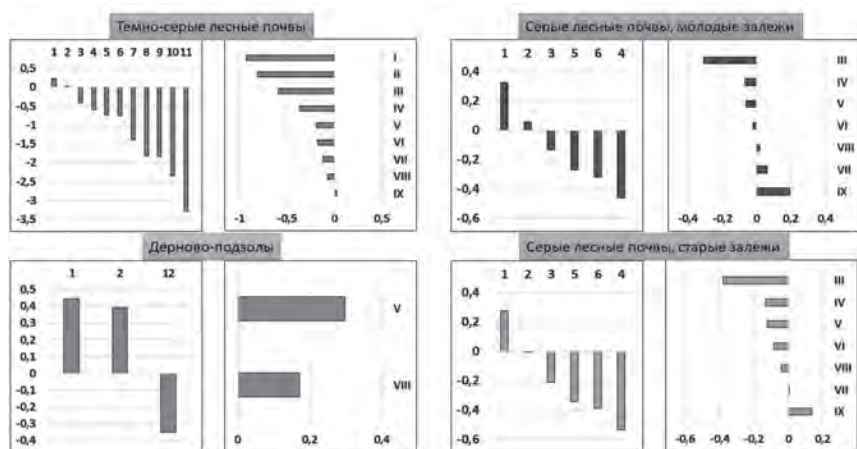
С помощью обратного моделирования определено, что в процессе лесовосстановления на залежах пулы $C_{\text{орг}}$ и углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) увеличиваются, но соотношение между ними смещается в сторону преобладания первого (>95%), тогда как в исходной версии модели для пахотных почв эти пулы примерно равны друг другу (таблица). Доля CO_2 , выделяющегося в атмосферу, по сравнению с углеродом, фиксирующимся в $C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{мик}}$, на залежных землях выше (>87%), чем на пашнях. Скорректированные константы скорости минерализации (K) органического вещества для залежей были меньше по значению, чем для пашен, особенно для $C_{\text{мик}}$. Это соответствует наблюдаемому интенсивному увеличению пула микробной биомассы в трех областях.

Путем прямого моделирования рассчитано, что после распашки залежные земли теряют $C_{\text{орг}}$. Его накопление в изученных почвах возможно только под многолетними травами ($0,28\text{--}0,45 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$) и озимой пшеницей ($0,04\text{--}0,39 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$) (рисунок). Поэтому именно севообороты с преобладанием

⁴⁹ Работа выполнена в рамках ГЗ ИГ РАН (рег. № 0148-2019-0009) и ИФХиБПП РАН (рег. № 0191-2019-0045) и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-04-00773а).

Параметры	Исходная версия RothC	Дерново-подзолы	Серые лесные	Темно-серые лесные
Соотношение $C_{\text{орг}} : C_{\text{мик}}$	0,54:0,46	0,98: 0,02	0,95:0,05	0,97:0,03
Соотношение $\text{CO}_2 : (C_{\text{орг}} + C_{\text{мик}})$	0,778:0,222	0,879:0,121	0,947:0,053	0,963:0,037
К для растительного материала	0,30	0,11	0,21	0,13
К для $C_{\text{мик}}$	0,66	0,11	0,03	0,01
К для $C_{\text{орг}}$	0,02	0,06	0,02	0,01

этих культур – сенокосно-пастбищный, почвозащитный, травопольный и зернотравяной – позволяют сохранять $C_{\text{орг}}$. Яровые и пропашные культуры, наоборот, способствуют увеличению скорости минерализации $C_{\text{орг}}$ (от $-0,32 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ под кукурузой на силос в Московской обл. до $-2,35 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ под соей в Белгородской обл.). Потери углерода при рекультивации старых (возраст >20 лет) залежей гораздо больше, чем при освоении молодых (возраст 6–13 лет).



Изменение запасов $C_{\text{орг}}$ ($\text{т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$) в посевах отдельных культур (гистограммы) и в разных севооборотах (линейчатые диаграммы) после рекультивации залежей. Культуры: 1 – многолетние травы, 2 – озимая пшеница, 3 – кукуруза на силос, 4 – ячмень, 5 – однолетние травы, 6 – картофель, 7 – кукуруза на зерно, 8 – подсолнечник, 9 – сахарная свекла, 10 – соя, 11 – чистый пар, 12 – овес. Севообороты: I – зернопаропропашной, II – зернопропашной, III – пропашной, IV – прифермский, V – зернотравяной, VI – плодосменный, VII – травопольный, VIII – почвозащитный, IX – сенокосно-пастбищный

Таким образом, за счет применения модели RothC удалось воспроизвести динамику запасов $C_{\text{орг}}$ при забрасывании пахотных угодий и возвращении залежных почв в оборот при различной степени интенсивности землепользования.

УДК 631.41

ДЕСТРУКЦИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРУЕМОГО ЭКСПЕРИМЕНТА⁵⁰

С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Т.С. Дудникова, Е.М. Антоненко, А.И. Барбашев

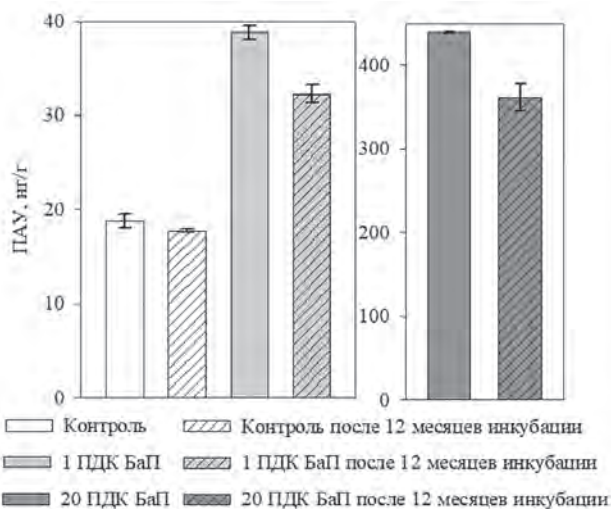
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, terra_rossa@mail.ru

Введение. К одним из наиболее распространенных ксенобиотиков окружающей среды относят полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Распространению данных поллютантов в окружающей среде, в том числе почвах, способствует ежегодное увеличение производства и эксплуатации углеродсодержащего топлива. Загрязнение почв ПАУ создает угрозу продовольственной безопасности России и биоразнообразию естественной биоты. Из всех известных полиаренов канцерогенная активность полностью доказана только для бенз(а)пирена (БаП) [1]. Деструкция БаП происходит под действием множества факторов и отражает способность почвы к самоочищению.

Целью данной работы являлось изучение деструкции БаП в искусственно загрязненном черноземе обыкновенном.

Для реализации цели исследования поставлен модельный эксперимент. Почва для опыта представлена черноземом обыкновенным, отобранным с особо охраняемой природной территории «Персиановская заповедная степь» со следующими свойствами: содержание физической глины – 52%, ила – 30%, гумуса – 4,2%, рН водной вытяжки – 7,5, содержание CaCO_3 – 0,4%, емкость катионного обмена – 33 смоль(+)/кг, содержание БаП – 19 нг/г. Полиэтиленовые сосуды объемом 4 л, заполняли 2 кг почвой, просеянной через сито 2 мм. Почву модельного эксперимента искусственно загрязняли водным раствором БаП в ацетонитриле. Схема опыта включала следующие варианты: контроль (исходная почва без загрязнителя), а также варианты с внесением БаП в количестве 20 и 400 нг/г БаП (что соответствовало 1 и 20 ПДК БаП в почве [2]). Повторность опыта четырехкратная. Почву инкубировали в течение 12 месяцев в условиях наименьшей полевой влагоемкости.

⁵⁰ Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ №19-29-05265 мк и гранта Президента № МК-2973.2019.



Изменение содержания БаП в почвах вариантов опыта с внесением различных доз поллютанта и без внесения.

После чего методом квартования провели отбор проб почвы. Извлечение БаП из образцов проводилась методом омыления, где мешающая фракция почвенных липидов была удалена с помощью кипячения образца 2-% спиртовом растворе гидроксида калия с последующей трехкратной экстракцией образца гексаном [3]. Определяли количество БаП в экстракте с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260. Статистическая значимость отличий по содержанию БаП в почве между вариантами опыта оценивалась с использованием критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони.

Было показано, что за период инкубации содержание БаП в почве без дополнительного внесения поллютанта достоверно снизилось на 6,9% – с 19,0 нг/г до 17,7 нг/г. В почвах вариантов опыта с внесением 1 ПДК поллютанта содержание БаП уменьшилось на 15,4% с 39 нг/г до 33 нг, где различия статистически достоверны. При наибольшей дозе внесения полиарена в почву (20 ПДК) наблюдалось достоверное снижение содержания БаП в почве после 12 месяцев инкубации на 28,0% – с 439 нг/г до 359 нг/г (рисунок).

Таким образом, за период исследования установлено, что с увеличением исходного содержания поллютанта в почве повышается степень его разложения, и ряд снижение содержания БаП в черноземе обыкновенном располагается следующим образом: контроль < 1 ПДК БаП < 20 ПДК БаП.

Литература

1. International Agency for Research on Cancer. Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1-124. Lyon, France: 2019 <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-theiarc/>.
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
3. ISO 13877-2005, 2005. Soil quality-determination of polynuclear aromatic hydrocarbons – Method using high -performance liquid chromatography.

УДК: 631.412

ОСОБЕННОСТИ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ В ПОЧВАХ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ⁵¹

С.С. Тагивердиев, С.Н. Горбов, О.С. Безуглова, П.Н. Скрипников

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, stagiverdiev@sfsedu.ru

Плотность почвы, представляя, по сути, интегральный показатель ее состояния, отражающий свойства структуры, органического вещества, параметры гранулометрического состава, в то же время определяет условия развития корневой системы растений, почвенной мезофауны и микроорганизмов [1, 3]. Считается, что диапазон оптимальной плотности для большинства растений находится в пределах 1,1–1,25 г/см³ [2].

Для залежных черноземов характерны типичные для зональных почв значения плотности сложения (таблица 1). Средний показатель плотности сложения в слое 0–25 этой группы находятся в пределах 1,1 г/см³, при этом в подпахотных горизонтах он в целом ниже и составляет около 1,06 г/см³.

В группе черноземов под древесной растительностью показатель составляет в среднем 1,23 г/см³, что обусловлено разрыхляющим действием корневых систем деревьев, так как плантажная вспашка в большинстве случаев не производилась.

Значения плотности сложения погребенных гумусово-аккумулятивных горизонтов [А] составляют 1,5 г/см³, вероятно, сказывается уплотняющее действие перекрывающей толщи, степень деградации оценивается по четырех балльной шкале как 3. Другой причиной уплотнения гумусово-аккумулятивных горизонтов погребенной почвы может быть деградация ее гумусного состояния. Так, Н.К. Шикеры, Г.В. Назаренко [4] приводят данные об увеличении плотности почвы при снижении содержания гумуса. Авторы установили, что коэффициент корреляции при этом составляет -0,72 при $r=0,95$. Как показали наши исследования, содержание гумуса в погребенных

⁵¹ Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания (Южный федеральный университет, проект № 0852-2020-0029).

Сводная таблица плотности сложения гумусово-аккумулятивных горизонтов почв Ростовской агломерации

Почвы, зона землепользования	Горизонты	Плотность сложения (г/см ³) M±m	Разница с пахотным аналогом	Увеличение равновесной плотности сложения почвы, в % от плотности почвы залежных участков / Степень деградации
Черноземы лесопарковых территорий	AU (AJ)	1,23±0,02	+0,10	8,85 / 0
Урбистратифицированные черноземы	[AU (AJ)]	1,5±0,01	+0,37	32,74 / 3
Реплантоземы, селитебная зона	RAT	1,65±0,09	+0,52	46,02 / 4
Черноземы миграционно-сегрегационные, залежные участки	AU (AJ)	1,13±0,05	0	0 / 0
HCP _{0,05}			0,31	

горизонтах снижается весьма существенно. Горизонты (RAT) реплантоземов имеют наивысшую плотность сложения, так как эти почвы приурочены к селитебным зонам районов многоэтажной застройки.

Таким образом, в черноземах лесопарковых территорий наблюдается тенденция к повышению плотности горизонта AU (AJ) по сравнению с залежными черноземами, а в погребенном горизонте [AU (AJ)] урбистратифицированных черноземов, и в реплантоземах плотность сложения на статистически значимую величину выше, чем в старопахотной почве. Поскольку изучаемый объект характеризуется высокой пространственной неоднородностью, изучали также поверхностные горизонты AU (AJ) черноземов селитебной зоны. Интересно, что в селитебных зонах по сравнению с горизонтами RAT, где плотность почвы в среднем составила 1,65 г/см³, горизонты AU (AJ) характеризуются низкой вариабельностью – 8,03 % и существенно более низкими значениями плотности сложения, в среднем 1,29 г/см³.

Литература

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.Л. Методы исследования физических свойств почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
2. Кушнарев А., Погорелый В. Методологические предпосылки выбора способа обработки почвы // Техника АПК, 2008. №1. С. 17–21.
3. Ревут И.Б. Как правильно обрабатывать почву. М.: Знамя, 1966. 319 с.
4. Шикун Н.К., Назаренко Г.В. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия. М.: Агропромиздат, 1990. 319 с.

ПОСТАГРОГЕННАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ⁵²

В.М. Телеснина*, И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню**,
В.И. Личко**, Е.И. Караванова***

**МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, vtelesnina@mail.ru*

***Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пуцзино, ikurg@mail.ru*

Постагроденные экосистемы в южной тайге занимают более 20% площади [3], что объясняет возрастающий интерес к проблеме постагроденной трансформации почв, особенно органического вещества. Цель настоящей работы – анализ постагроденной динамики пулов азота и углерода, индекса гумификации и показателей биологической активности агродерново-подзолов на примере почв зарастающей пашни. Исследование проводили в Костромской области в хроноряду залежных почв различного возраста. Хроноряд состоит из стадий: 1) пашня, засеянная овсом (почва – агродерново-подзол [1]); 2) 15-летняя луговая залежь (агродерново-подзол реградированный); 3) 20-летняя залежь, заросшая ивняком (агродерново-подзол реградированный); 4) вторичный березняк 45 лет (дерново-подзол постагроденный); 5) березово-еловый лес 120 лет, выступающий в качестве контроля (подзол грубогумусированный). Содержание органического углерода (SOC) и общего азота (TN) определяли на автоматическом анализаторе, содержание водорастворимых форм углерода (DOC) и азота (DON) – в водных вытяжках на элементном анализаторе TOC-V_{CPN}, базальное дыхание почв (BR) – по интенсивности выделения CO₂ из почвы, углерод микробной биомассы (C_{mic}) – методом субстрат-индуцированного дыхания [2]. В водной вытяжке определен индекс гумификации НІХ – показатель конденсированности и обуглероженности растворимого органического вещества [5].

Восстановление растительности на бывших пашнях ведет к увеличению поступления опада и определяет существенный рост содержания SOC и TN. Для слоя 0-5 выявлена наиболее отчетливая динамика увеличения содержания SOC (от 14,7±0,6 до 33,9±1,6 г/кг). Соотношение C/N в верхней части профиля возрастает на всем протяжении сукцессии. В ходе сукцессии наблюдали значимую положительную корреляцию ($r = 0.60$, $P \leq 0.05$) между содержанием SOC и концентрацией TN. Индекс гумификации водорастворимого почвенного вещества снижается, принимая минимальные значения в почве 20-летней залежи с древостоем из ивы, опад которой богат феноль-

⁵² Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-04-00773) в рамках государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № АААА-А18-118013190177-9).

ными соединениями, ингибирующими процессы активного преобразования органических субстратов. Индексы гумификации значимо отрицательно коррелировали с содержанием SOC, TN, DOC, и DON.

Вторичная залежная сукцессия индуцирует заметный рост интенсивности BR и увеличение содержания C_{mic} , наиболее выраженное в слое 0–5 см. Максимальная биологическая активность наблюдается в почве 45-летней залежи под листовенным лесом, подстилка которого является источником лабильных форм углерода, представляющих легкодоступный субстрат для микробного сообщества – BR составляет 36 ± 2 мгС/кг сут, $C_{mic} - 521 \pm 30$ мгС/кг почвы. Скорость BR в слое 0–5 см демонстрировала значимую положительную связь с содержанием SOC, C_{mic} , отношением SOC/TN и запасами ежегодно поступающего легкоразлагаемого опада, а отрицательную – с pH.

С помощью стратификационного отношения (SR), используемого для оценки секвестрации углерода [4], оценили перераспределение ряда почвенных свойств (SOC, TN, C/N, BR, C_{mic} , pH) в слое 0–10 см. Величина SR(0–5:5–10) рассчитана как отношение между значением свойства в слоях 0–5 и 5–10 см, что показывает скорость дифференциации при зарастании пашни. В ходе сукцессии наблюдается заметная стратификация по содержанию SOC, TN, C_{mic} и интенсивности BR. Самые высокие значения величина SR достигала в почве 120-летнего леса для SOC и TN, а для микробных свойств – в почве 45-летнего леса. Заметный рост SR по содержанию SOC в ходе постагрогенной сукцессии говорит о высоком потенциале залежных почв южной тайги к секвестированию углерода.

Литература

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумене, 2004.
2. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. No. 3. P. 215-221.
3. Lyuri D.I., Karelin D.V., Kudikov A.V., Goryachkin S.V. Changes in Soil Respiration in the Course of the Postagrogenic Succession on Sandy Soils in the Southern Taiga Zone // Eurasian Soil Science. 2013. V. 46. № 9. P. 935-947.
4. Zhao F, Yang G, Han X, Feng Y, Ren G Stratification of Carbon Fractions and Carbon Management Index in Deep Soil Affected by the Grain-to-Green Program in China // PLoS ONE. 2014. 9(6). doi:10.1371/journal.pone.0099657
5. Zsolnay A. Dissolved organic matter: Artefacts, definitions, and functions. Geoderma. 2003. V.113. P. 187–209.

ОЦЕНКА СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЁДНЫХ РЕАГЕНТОВ И ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА МИКРОБНОЕ ДЫХАНИЕ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

Л.И. Трибис

*Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими
рисками здоровью ФМБА РФ, Москва, LTribis@cspmr.ru, tribislev@hotmail.com*

Применение противогололедных реагентов, основным компонентом которых являются соли Na, K, Ca и др., в условиях мегаполиса приводит к поступлению этих солей различными путями в снежный покров на городских почвах. При его таянии эти соли попадают в почву, что может приводить к их засолению и даже осолонцеванию [2]. Кроме того, в условиях города поступление тяжелых металлов, в т.ч. от автотранспорта, оказывает интенсивную нагрузку на почвенные микроорганизмы [3]. Субстрат-индуцированное и базальное дыхание почвенных микроорганизмов являются интегральными показателями, характеризующими состояние микробного сообщества на изучаемом участке почвы. Стабильность микробного сообщества почвы можно оценивать при помощи микробного метаболического коэффициента (QR) (также упоминаемого как микробный респирационный коэффициент), представляющего собой отношение базального дыхания к субстрат-индуцированному [1, 4, 5].

На территории г. Москвы и Московской области проводились исследования снежного покрова зимой, а также почвы в летний период в 20 точках. Из 20 точек 4 расположены на разном расстоянии от одной остановки общественного транспорта (1 – непосредственно вблизи остановки, 4 – самая дальняя). В отобранных на этих точках образцах почвы определялось содержание основных компонентов противогололедных реагентов и тяжелых металлов в ацетатно-аммонийной вытяжке методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, а также субстрат-индуцированное и базальное дыхание почвенных микроорганизмов, содержание CO₂ измерялось с помощью газового хроматографа. Рассчитан коэффициент корреляции Пирсона между содержанием исследуемых элементов и величиной QR, данные представлены в таблице.

Согласно полученным данным наибольший QR, также как и максимальное содержание большинства исследуемых элементов, обнаружен на ближайшем к автодороге участке (точка 1), подверженному регулярному, более интенсивному воздействию противогололедных реагентов и тяжелых металлов от автодороги (по сравнению с другими участками). При этом даже на небольшом удалении от источников загрязнения растёт устойчивость

Оценка корреляционной зависимости между величинами содержания исследуемых элементов в почве и микробного метаболического коэффициента

Точка отбора	Q_R	Концентрация исследуемого элемента								
		мг/кг				мкг/кг				
		Na	Mg	Ca	Cl	Pb	Co	Cd	Ni	Cr
1	1,02	1560	531	18900	60	2100	282	258	780	840
2	0,09	150	678	15300	22	189	183	66	480	162
3	0,16	42	666	7800	24	126	201	45	330	150
4	0,08	600	1206	21600	95	510	222	54	510	93
Коэффициент корреляции с Q_R		0,914	-0,574	0,264	0,148	0,970	0,922	0,988	0,872	0,996

микробных сообществ почвы, характеризуемая Q_R . Очень высокая положительная корреляция выявлена между содержанием Na, Pb, Co, Cd, Cr и величиной Q_R , высокая положительная корреляция – Ni и Q_R .

Полученные результаты показывают, что тяжелые металлы оказывают отрицательное воздействие на микробные сообщества городских почв, сопоставимое с воздействием компонентов противогололедных реагентов, попадающих в почву.

Литература

1. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223 с.
2. Шевченко А.В., Апухтина Н.В., Савич В.И. Техногенное осолонцевание почв Московской обл. // Известия ТСХА. 2008. №1. С. 50-57
3. Abdu N., Abdullahi A.A., Abdulkadir A. Heavy metals and soil microbes // Environ. Chem. Lett. 2017. № 15. P. 65-84.
4. Goswami M.R., Pati U.K., Chowdhury A., Mukhopadhyay, A. Studies on the effect of cypermethrin on soil microbial biomass and its activity in an alluvial soil // International Journal of Agricultural and Food Science. 2013. № 3(1). P. 1-9.
5. Hund K, Schenk B. The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes // Chemosphere. 1994. № 28(3). P. 477-490.

ОЦЕНКА МИНЕРАЛИЗУЕМЫХ ПУЛОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ПОЧВАХ ДЛЯ РАЗНЫХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ ВЕГЕТАЦИОННОГО СЕЗОНА⁵³

А.С. Тулина

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
ФИЦ ПНЦБНИ РАН, Пушкино, atulina@yandex.ru*

Размер минерализуемого пула углерода (фактическую минерализацию, $C_{\text{фм}}$) в почвах оценивают по кумулятивному продуцированию $C\text{-CO}_2$ в течение инкубации, сопоставимой по продолжительности с вегетационным сезоном, при постоянной температуре, равной среднемесячной среднемесячной температуре самого теплого месяца сезона, и увлажнении, при котором достигается оптимальный баланс между доступностью для микробного сообщества воды и кислорода. Размер минерализуемого пула азота (нетто-минерализацию, $N_{\text{нм}}$) рассчитывают как разницу между содержанием в почве суммы обменного аммония и нитратов к концу такой продолжительной инкубации и в ее начале. Применимость результатов лабораторных исследований, проведенных в постоянных условиях, оптимальных для минерализации, для оценки пулов углерода и азота, минерализуемых в почве в полевых условиях, ограничивается неоднородными гидротермическими условиями разных вегетационных сезонов и разных месяцев сезона.

Представляемый здесь подход позволяет определить размеры потенциальных эмиссионных потерь углерода, связанных с минерализацией почвенного органического вещества ($C_{\text{пп}}$), и запасы потенциально доступного растениям азота почвы ($N_{\text{пд}}$), высвобождаемого в ходе минерализации, для различных гидротермических сценариев (ГТС) вегетационного сезона.

На основании значений $C_{\text{фм}}$ и $N_{\text{нм}}$, определенных в 150-суточном инкубационном эксперименте при постоянной температуре 8, 18 и 28 °C и влажности 10, 25 и 40 вес. % [1], рассчитывали $C_{\text{пп}}$ и $N_{\text{пд}}$, соответственно, для каждого из пяти месяцев вегетационного сезона: мая, июня, июля, августа и сентября при ГТС, учитывающих недостаточное, оптимальное и избыточное увлажнение почв, а также среднесезонную температуру, характерную для мест отбора почвенных образцов, средний температурный минимум и максимум. Прогнозируемые размеры $C_{\text{пп}}$ и $N_{\text{пд}}$, приведенные ниже в таблице, представляют собой суммарные значения за пять месяцев. Экспериментальные размеры $C_{\text{пп}}$ и $N_{\text{пд}}$ принимали равными значениям $C_{\text{фм}}$ и $N_{\text{нм}}$, соответственно, установленным в результате 150-суточной инкубации при одинаковых для трех изучаемых почв условиях: температуре 22 °C и влажности 25 вес. %.

⁵³ Исследования проведены в рамках исполнения гос. задания № 0191-2019-0045.

Потенциальные эмиссионные потери углерода ($C_{\text{пн}}$) из почв и потенциально доступный растениям азот почв ($N_{\text{пд}}$) за период с мая по сентябрь, прогнозируемые для разных гидротермических сценариев (ГТС), рассчитано для слоя 0–20 см

Почва (образцы отобраны с пахотных участков)	ГТС	C _{пн} , т/га			N _{пл} , кг/га		
	Увлаж- нение	Температура сезона					
		мин.	ср.мн.	мах.	мин.	ср.мн.	мах.
Серая лесная, Московская обл. C _{орг} =0.9%, N _{общ} =1170мг/кг	недост.	0.7	0.9	1.1	70	70	90
	оптим.	1.0	1.2	1.3	100	120	150
	избыт.	1.0	1.2	1.4	60	110	140
Чернозем оподзоленный, Тульская обл. C _{орг} =2.5%, N _{общ} =2190мг/кг	недост.	0.6	0.9	1.2	90	110	120
	оптим.	1.0	1.4	1.9	110	190	220
	избыт.	1.1	1.6	2.2	100	170	200
Темно-каштановая, Оренбургская обл. C _{орг} =1.1%, N _{общ} =1390мг/кг	недост.	0.7	0.8	1.0	110	140	170
	оптим.	0.8	1.2	1.6	170	230	250
	избыт.	1.0	1.5	2.0	70	20	10

Эмиссионные потери $C\text{-CO}_2$ при неблагоприятных гидротермических сценариях (сезон «холодный» и/или «сухой») прогнозировались минимальными и были примерно равными для трех изучаемых почв, не смотря на разное содержание $C_{\text{орг}}$ в этих почвах. При более благоприятных сценариях размеры $C_{\text{пн}}$ увеличивались и обнаружилось их различия в разных почвах. Прогнозируемые запасы $N_{\text{пд}}$ в почвах также увеличивались с повышением температуры сезона, и были больше при оптимальном, чем при недостаточном или избыточном увлажнении.

Размеры $C_{\text{пн}}$ в серой лесной почве, черноземе оподзоленном и темно-каштановой почве, определенные экспериментально, составили 1.5, 2.2 и 1.4 т/га, а $N_{\text{пд}}$ – 150, 220 и 250 кг/га, соответственно. Экспериментальные размеры $C_{\text{пн}}$ и $N_{\text{пд}}$ были в 2.0–3.7 раза больше значений, прогнозируемых для наименее благоприятных гидротермических сценариев, в 1.2–1.8 раза больше значений, прогнозируемых для наиболее ожидаемых ГТС (в таблице выделено жирным шрифтом), и лишь прогноз для самых благоприятных сценариев вегетационного сезона дал значения, примерно равные экспериментальным оценкам.

Литература

1. Тулина А.С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота // Агрохимия. 2019. № 3. С. 3–18.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ И МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ В СВЯЗИ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ⁵⁴

Д.Г. Федоров-Давыдов*, В.Е. Остроумов*, А.Л. Холодов*, **,
В.А. Сороковиков*, Г.Н. Краев*, ***, А.В. Лупачев*, А.А. Веремева*,
С.П. Давыдов****, А.И. Давыдова****, И.И. Еремин****,
Д.Ю. Кропачев*****

*ФИЦ «Пуцинский центр биологических исследований РАН», Пуцино,
muss-96@yandex.ru

**Геофизический институт Университета Аляски. США, Аляска,
Фэрбенкс, *alkholodov@alaska.edu*

***Свободный университет Амстердама, Нидерланды, Амстердам,
g.n.kraev@vu.nl

****Северо-Восточная научная станция Тихоокеанского института географии
ДВО РАН, Республика Саха(Якутия), Черский, *davydoffs@mail.ru*
*****НПО «Эталон», Омск, *fgur@omsketalon.ru*

Систематический мониторинг температуры почв и многолетнемерзлых пород (ММП), а также мощности сезонноталого слоя (СТС) Северной Якутии был развернут во второй половине 1990-х гг. В настоящее время наблюдения проводятся в Приморских (Колымской и Яно-Индигирской) низменностях и на п-ве Быковском.

С 2014 г. начаты также измерения тепловых потоков в профиле криометаморфической почвы лиственничного редколесья на востоке Колымской низменности, в результате которых было показано существование дисбаланса в системе «почва-мерзлота» между годовым приходом и расходом тепловой энергии, равного 44,6–87,4 МДж/м² (26,3–56,1% от общего поступления тепла). Баланс был минимальным в 2018–2019 гидрологическом году с относительно малоснежной зимой и максимальным – в 2017–2018 гг. с наиболее многоснежной. При этом 37,6–88,3% тепловой энергии, поступающей в многолетнюю мерзлоту, аккумулировалось в ней, вызывая нагревание.

Повышение температуры ММП началось на рубеже XX–XXI столетий и в восточной части исследуемого региона проявилось сильнее, чем в западной. Средние тренды составляли 0,1 °С/год в тундровой зоне и 0,06–0,07 °С/год – в таежной. С 2016 года из-за высокого количества твердых осадков темпы потепления мерзлоты выросли, что в большей степени ощутимо для ландшафтов северотаежной подзоны (до 0,22–0,40 °С/год), где существуют лучшие условия снегонакопления.

⁵⁴ Работа выполнена в рамках госзадания 0191-2019-0044, при финансовой поддержке международных программ TSP и CALM.

Рост температур почв в холодное время года был характерен для Приморских низменностей, но, если для Колымской низменности он наметился уже давно и лишь усилился из-за многоснежных зим второй половины 2010-х гг., то для тундровой точки на Яно-Индибирской низменности (R31) положительный знак тренда годовой суммы отрицательных среднесуточных температур на глубине 20 см определился лишь в последние годы. На п-ве Быковском, где повышение температур воздуха выражено менее отчетливо, а количество твердых осадков на протяжении 2010-х годов снижалось, зимние термические показатели почв в многолетней динамике оставались стабильными.

Повышение летних температур воздуха в 2000-е годы вызвало повсеместный рост мощности СТС в Приморских низменностях Якутии. Максимальная скорость увеличения глубины сезонного протаивания почв в этот период отмечена для крутого водораздельного склона в тундровой зоне (R25) – 3,79 см/год. Высокие темпы прироста наблюдались и для песчаных почв Колымской низменности (R16, R19, R21) – 2,59-3,39 см/год. На тундровых водоразделах (R13, R14, R15, R22, R31) тренды глубины протаивания зональных криоземов изменялась в пределах 0,53-2,13 см/год. В таежных ландшафтах (R18, R36) темпы увеличения мощности СТС составляли 1,64–2,75 см/год. Для аласов Колымской низменности (R13A, R15A) тренды были равны 1,37–1,87, а для пойменных экосистем (R17, R20) – 0,28-1,44 см/год.

В период после потепления, глубина сезонного протаивания песчаных почв стабилизировалась на уровне, превосходящим изначальный на 27–28 см. В зональных суглинистых почвах тундры и тайги Колымской низменности, кратковременное снижение глубины протаивания сменилось стабилизацией на более глубоком уровне или новым ростом во второй половине 2010-х гг. Величина мощности деятельного слоя зонального тундрового биогеоценоза Яно-Индибирской низменности (R31) после периода роста вернулась к исходным значениям. Аллювиальные разности характеризовались почти линейным увеличением глубины протаивания (0,67–0,72 см/год) за годы мониторинга. Заболоченные ландшафты тундры и тайги, как и плакорная экосистема п-ва Быковского, отличаются лишь временными повышениями мощности СТС. Стабилизации или дальнейшему приросту деятельного слоя, по-видимому, способствует повышение температуры многолетней мерзлоты, а в случае пойменных биогеоценозов – изменения гидрологического режима, также связанные с глобальным потеплением.

Как изменения климата, так и степень отклика на них криогенных экосистем сильнее выражены в субарктической части Северной Якутии, чем в арктической (п-в Быковский). Степень трансформации теплового режима почв и ММП в пределах изучаемого региона нарастает в направлении с запада на восток.

БИОПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В РОССИИ⁵⁵

А.Е. Филонов*, **, И.Ф. Пунтус*, **, Л.И. Ахметов*, А.А. Ветрова*

*ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцино,
filonov.andrey@rambler.ru

**Тулский государственный университет

В России разработано несколько десятков биопрепаратов для очистки окружающей среды от загрязнения нефтью и нефтепродуктами (Filonov et al., 2020). В настоящее время используют следующие препараты: «Экойл», «Олеоворин», «Деворойл», «Дестройл», «Бациспектин», «Универсал», «Ленойл» (Loginov et al. 2004), «Родер» (Murygina et al. 2000), «Белвитамил» (активный ил из очистных сооружений сточных вод ЦБК (Киреева и др. 2010), но не все нашли свое применение, многие из них даже не были запатентованы, а некоторые из них известны только из рекламы.

Биопрепараты условно разделяют на три группы: первая – с одним микробным штаммом (бактерии/дрожжи) из природного или промышленного источника. Вторую образуют консорциумы штаммов. Третья группа биопрепаратов сложного состава: они включают, помимо микроорганизмов, сорбенты (природные и ненатуральные), носители, стабилизаторы, консерванты, ферменты, ПАУ, органические и минеральные вещества.

Желательно, чтобы ферментные системы штаммов-нефтедеструкторов дополняли друг друга. На этом принципе основано сочетание штаммов различных таксономических групп. Консорциумы часто включают штаммы родов *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus* и *Mycobacterium* в различных соотношениях.

Другим подходом к составлению микробных ассоциаций может быть кластерный анализ дендрограмм на основе метаболических свойств. Штаммы с аналогичными характеристиками роста и деградации расположены близко друг к другу на дендрограмме и наоборот. Возможно, наиболее активная ассоциация будет состоять из некоторых активных штаммов (потребляющих различные фракции) и некоторых гетеротрофов, которые не обладают способностью окислять углеводороды, но способны усваивать промежуточные продукты, часто токсичные для окисляющих углеводороды микроорганизмов. Кроме того, микробные консорциумы могут быть отобраны при перидическом культивировании в колбах или в проточной открытой системе биореакторов (Ахметов и др. 2006).

⁵⁵ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта № 20-54-00002\20 «Особенности синтеза поверхностно-активных соединений бактериями, эффективно утилизирующими нефть при пониженных и повышенных температурах».

В России большинство месторождений и загрязненных нефтью территорий расположено в северных регионах. Эффективность биоремедиации при низких температурах мало изучена, а проблема очистки от углеводородов до сих пор не решена.

Для разработки биопрепаратов в лаборатории биологии плазмид ИБФМ РАН были выработаны критерии отбора штаммов-нефтедеструкторов. Комбинация всех перечисленных ниже свойств, наиболее значимых для эффективной деградации углеводородов нефти, не описана ни для одного из известных биопрепаратов: деградация высоких концентраций нефти или нефтепродуктов (30%) в широком диапазоне температур (от 4 до 42°C) и pH (4–10); галотолерантность (до 5% NaCl); наличие катаболических плазмид; синтез эффективных биоПАВ; колонизация корней растений; совместимость штаммов. Нами показано, что наличие в штаммах плазмид биodeградации ароматических углеводородов увеличивает степень деструкции нефти, а горизонтальный перенос плазмид и генов биodeградации в эндогенные почвенные микроорганизмы интенсифицирует процессы очистки и повышает их биodeградативный потенциал в загрязненных углеводородами экосистемах.

Нами разработан, испытан и запатентован биопрепарат «МикроБак», а также разработан опытный образец биопрепарата «ВиО» для очистки почв и грунтов от нефтяных загрязнений в условиях холодного и умеренного климата (Патент РФ №2378060). Полевые испытания «МикроБак» при пониженной температуре (от 0 до +22 °C) показали, что за два месяца в зависимости от условий он способен утилизировать от 50 до 90% нефти и дизельного топлива.

В 2017 году сотрудниками ИБФМ РАН совместно с ООО «Сонес» был разработан биопрепарат «OXIDOIL» для холодного и умеренного климата. Испытания этого биопрепарата в ЯНАО продемонстрировали его способность к деградации до 55% нефти в торфе верхового болота за месяц при температуре воздуха от +2 до +23 °C.

Восстановление почв, загрязненных нефтью и углеводородами, может быть достигнуто путем комплексного подхода с применением высокоэффективных биопрепаратов, продуцирующих биоПАВ, в широком диапазоне температур и pH в сочетании с минеральными или органическими удобрениями и агротехническими мероприятиями (обеспечение влажности, аэрации, снижение кислотности почвы).

Литература

1. Filonov A., Akhmetov L., Puntus I., Solyanikova I. Removal of oil spills in temperate and cold climates of Russia: experience in the creation and use of biopreparations based on effective microbial consortia / In: Biodegradation, Pollutants and Bioremediation Principles. Taylor's & Francis CRC Press. 2020. In press.
2. Loginov, O.N., N.N. Silishchev, R.N. Churaev, T.F. Boyko, N.F. Galimzyanova, E.A. Danilova et al. 2004 A consortium of microbial strains *Bacillus brevis* and *Arthrobacter* sp., used to clean-up water and soil from crude oil and oil products. RU Patent #2232806.

3. Murygina, V., M. Arinbasarov and S. Kalyuzhnyi. Bioremediation of oil polluted aquatic systems and soils with novel preparation «Rhoder» // Biodegradation. 2000. 11: 385-389.
4. Kireeva, N.A. 1996. Microbiological processes in oil-contaminated soils. Publishing House of Bashkirsky State University, Ufa, Russia.
5. Ахметов Л.И., Иванова Е.С., Пунтус И.Ф., Есикова Т.З., Филонов А.Е., Шкидченко А.Н., Боронин А.М. Горизонтальный перенос плазмиды биодegradации нафталина в процессе микробной деструкции дизельного топлива и нефти в открытом прочном биореакторе. Биотехнология. 2006. № 4. С. 79-86.

УДК 57.03, 047; 574.4, 630*114; 630*182.21

ПОЧВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОД ВАЛЕЖОМ ПОСЛЕ МАССОВОГО И ЕДИНИЧНЫХ ВЕТРОВАЛОВ В ЗОНЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ⁵⁶

Л.Г. Ханина*, М.В. Бобровский, К.В.Иващенко**,
В.Э. Смирнов*, *****

**Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института
прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Пуцино,
khanina.larisa@gmail.com*

***ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцино*

****Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва*

Лесные ветровалы (падение деревьев) являются природным нарушением, происходящим, как правило, в результате сильных порывов ветра. После ветровалов образуются окна в пологом лесу, валеж разных размерных классов и ветровально-почвенные комплексы, которые формируются в случае падения дерева с выворачиванием корневой системы. Наряду с давним вниманием ученых к этому природному явлению, оценки вкладов древесного детрита, образующегося в большом количестве после ветровалов, в циклы элементов, общий баланс углерода, запас органического вещества почвы весьма противоречивы [6, 8]. Требуется проведение дополнительных детальных исследований, в том числе для оценки экосистемных функций лесов, реализующихся в лесах со спонтанной динамикой и без нее. Ветровалы в равнинных широколиственных лесах слабо изучены по сравнению с лесами других типов, что отчасти является следствием относительной редкости этих лесов в настоящее время. Однако в условиях потепления климата площадь широколиственных лесов может заметно увеличиться, что определяет особую важность и актуальность их изучения.

Исследование свойств почв и валежа проводится в заповеднике «Калужские засеки», где в 2006 г. произошел массовый ветровал на общей площади 285 га, состоящей из 291 участка размером от 0.04 до 51 га. В наибольшей

⁵⁶ Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ, проект 20-04-00733.

степени ветровалом были повреждены средневозрастные и приспевающие осинники и березняки, а в наименьшей – старовозрастные и перестойные дубравы, состоящие из дуба черешчатого, ясеня обыкновенного, вяза шершавого, липы мелколистной, кленов остролистного и полевого с редким участием ели европейской. Учет и картирование валежа было проведено в 2010 г. на пяти постоянных пробных площадях (ПП). Средний запас валежа на изученных ПП через четыре года после ветровала варьировал от 198 до 463 м³/га (в среднем 433±47 м³/га), численность подроста варьировала от 9 до 17.3 тыс. шт./га [1].

На картированных участках массового ветровала 2006 г., расположенных на песках (на дерново-подзолах и дерново-подбурях), для восьми видов деревьев в трехкратной повторности в июне и июле 2020 г. будут отобраны смешанные образцы почвы из верхнего органо-минерального слоя, 0-10 см: (1) под лежащими стволами разных видов деревьев и (2) на расстоянии 1 м от валежа (фон-контроль). В докладе будут представлены результаты анализа физико-химических и микробных характеристик почв, оценено влияние валежа разных видов на почвенные свойства. Исходя из литературных данных [2, 3, 5, 7], мы ожидаем увеличение микробной активности, содержания органического углерода и азота под валежом по сравнению с фоном; более высокие показатели для липы мелколистной и кленов по сравнению с дубом черешчатым, в частности, вследствие более высокой устойчивости дуба к гниению [4].

Литература

1. Бобровский М.В., Стаменов М.Н. Катастрофический ветровал 2006 года на территории заповедника «Калужские засеки» // Лесоведение. 2020. Принято в печать.
2. Błońska E., Kacprzyk M., Spólnik A. Effect of deadwood of different tree species in various stages of decomposition on biochemical soil properties and carbon storage // Ecol Res. 2017. 32: 193–203.
3. Błońska E., Lasota J., Tullus A., Lutter R., Ostonen I. Impact of deadwood decomposition on soil organic carbon sequestration in Estonian and Polish forests // Annals of Forest Science (2019) 76: 102.
4. Durability of wood and wood based products. Part 2: Guide to the natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe; German version EN 350-2:1994.
5. Kappes H., Catalano C., Topp W. Coarse woody debris ameliorates chemical and biotic soil parameters of acidified broad-leaved forests // Applied soil ecology. 2007. 36:190–198
6. Magnússon R.I., Tietema A., Cornelissen J.H.C., Hefting M.M., Kalbitz K. Tamm Review: Sequestration of carbon from coarse woody debris in forest soils // Forest Ecology and Management. 2016. V. 377. P. 1–15.
7. Persoh D., Borken W. Impact of woody debris of different tree species on the microbial activity and community of an underlying organic horizon // Soil Biology & Biochemistry. 2017. V. 115. P. 516–525.
8. Thom D., Seidl R. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests // Biol. Rev. 2016. V. 91. P. 760–781.

НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАСОЛЕННОСТИ ПОЧВ И ГРУНТОВ БЫВШИХ РИСОВЫХ СИСТЕМ КРЫМА

Н.Б. Хитров*, Л.В. Роговнева*, В. С. Паштецкий**

**ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, khitrovnb@gmail.com.*

***Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь*

Рисовые системы Крыма построены в середине 1960-х годов на Присивашской низменности с засоленными лугово-каштановыми солонцовыми комплексами почв. С начала эксплуатации засоление почв постепенно уменьшалось за счет интенсивных промывок в условиях затопляемой культуры риса. В 2000-х годах, по данным Крымского аграрного университета [1, 2], и Крымской гидрогеолого-мелиоративной экспедиции (ГГМЭ) солонцовые почвы были рассолены до глубины более 100 см. После прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу весной 2014 г., по данным Крымской ГГМЭ, купола грунтовых вод под каналом и орошаемыми участками сработались к весне 2016 г.

В ходе реализации программ Президиума РАН экспериментально установлено, что в течение 2015–2018 гг. почвы и грунты бывших рисовых систем в 90–95% случаев являлись незасоленными до глубины трех метров [3]. Грунтовые воды под массивами бывших рисовых систем ежегодно понижались с 2015 по 2018 гг. и находились на глубине преимущественно более 3 м от поверхности, исключая территории с высотой <2.5 м над уровнем моря. В 2017–2018 гг. в береговой полосе Сиваша [4] и Каркинитского залива под массивами рисовых систем сформировалась депрессионная воронка грунтовых вод с гидравлическим напором морских вод по отношению к грунтовым водам 110–160 см.

В 2019 г. в береговой полосе начался противоположный процесс подъема грунтовых вод с заполнением депрессионной воронки со стороны моря. Процесс отчетливо проявляется на обоих мониторинговых участках в Красноперекопском и Нижнегорском районах. Подъем уровня грунтовых вод в депрессионных воронках сопровождается либо увеличением минерализации грунтовых вод по сравнению с предыдущим периодом наблюдений (участок на Присивашской низменности), либо сохранением прежних значений минерализации, но нарушая зависимость изменения содержания солей в грунтовых водах в период их направленного понижения после прекращения орошения (участок на Прикаркинитской низменности).

По данным 2018 г. и предварительным неполным данным 2019 г. анализ содержания солей в почвах и грунтах, отмечаются следующие проявления восстановления засоленности.

Во-первых, в 40–80% точек опробования в 2019 г. в грунтах зоны аэрации на глубине 1.5–4 м наблюдалось формирование скоплений мелкокристаллического гипса с одновременным увеличением активности ионов натрия и хлоридов в поровых растворах до значений близких или соответствующих слабой степени засоления. Это результат капиллярного подъема слабоминерализованных растворов от грунтовых вод в зону аэрации, которая до этого была незасоленной (точнее рассоленной) и в составе обменных катионов которой доминировал кальций. При движении хлоридно-сульфатных натриевых растворов через незасоленные горизонты происходят реакции катионного обмена с поглощением натрия и вытеснением в раствор обменного кальция, осаждением сульфата кальция из раствора в твердую фазу в виде гипса и трансформация ионного состава раствора с хлоридно-сульфатного натриевого на хлоридный кальциево-натриевый. Во-вторых, на территориях с высотой поверхности <2.5 м над уровнем моря наблюдается слабое засоление средней части почвенного профиля на глубине 40–100 см, и в ряде случаев активное накопление скоплений мучнистого и мелкокристаллического гипса.

Отмеченные процессы увеличения содержания солей в почвах, грунтах и грунтовых водах начинают протекать с ускоряющимся темпом в связи с выдавливанием минерализованных грунтовых вод в депрессионную воронку. Это создает риск восстановления засоленности почв бывших рисовых систем в прибрежной полосе на высотах <2.5 м в ближайшие 5-лет, и как следствие, заметное снижение урожайности сельскохозяйственных культур и риск невозможности ведения экономически эффективного производства сельскохозяйственной продукции на таких землях.

Литература

1. Титков А.А. Влияние орошения затоплением на мелиоративные условия и почвенный покров Присивашья: (Монография) / А.А. Титков, А.В. Кольцов. – Симферополь, 1995. – 167 с.
2. Тронза Г.Е. Вплив тривалого рисосіяння на фізико-хімічні властивості І сольовий режим солонців лучних зони сухих степів. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. н., Харків, 2008. 21 с.
3. Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Добрицкая Е.Ю., Дунаева Е.А., Кириленко Н.Г., Попович В.Ф. Солевое состояние рисовой системы севера Крыма после прекращения подачи воды // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 3(7). С. 140-154.
4. Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Паштецкий В.С. Изменение засоленности почв и грунтовых вод рисовых систем Присивашской низменности после прекращения орошения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 70-102. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-70-102

МИКРООРГАНИЗМЫ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОЛИНЫ ПИРС И ГОРЫ ТЕЙБЛ РАЙОНА СУХИХ ДОЛИН АНТАРКТИДЫ⁵⁷

А.К. Ходжаева*, А.А. Абрамов*, Н.Э. Демидов, Дж. Андерсон***,
Е.М. Ривкина***

**ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцино,
akho2@rambler.ru*

***ГНЦ РФ «Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт», Санкт-Петербург, nikdemidov@mail.ru*

****Университет Отаго, Новая Зеландия, Данидин,
jacob.anderson@postgrad.otago.ac.nz*

Сухие Долины – крупнейший свободный ото льда оазис, который расположен на берегу моря Роса в Западной Антарктике, является одним из самых экстремальных местообитаний живых организмов на Земле. Среднегодовые температуры воздуха здесь колеблются от –15 до –30 °С. Количество осадков невелико (<100 мм в год), т.к. они перехватываются окружающими оазис Трансантарктическими горами. Осадки выпадают в виде снега, который сублимирует, не успевая перейти в жидкую фазу. В формировании температурного режима Сухих долин большую роль играют стоковые ветра, характеризующиеся большой устойчивостью направления и значительной скоростью до 90 м/с. Суровые климатические условия, установившиеся здесь в эоцене, способствовали формированию низкотемпературных многолетнемерзлых толщ с сохранением в них жизнеспособных микроорганизмов. В районе Сухих долин возможно присутствие самых древних многолетнемерзлых толщ Земли (до 15 млн. лет), что делает их изучение, важным вкладом в понимание временных границ сохранения жизни в вечной мерзлоте [1]. Ранее, выделение и изучение микроорганизмов проводили на мерзлых образцах долин Маерс, Тейлор, Бикона, Университета, горы Фэзер [1–3].

Микробиологическое исследование проводили на образцах кернов, отобранных в ходе совместной Российской и Новозеландской антарктической экспедиции в 2014 г в долине Пирс и на горе Тейбл. Образцы многолетнемерзлых отложений долины Пирс (скв. PV-14, возраст мерзлых толщ ~70–130 тыс. лет, глубины отбора: 0.39–0.50; 1.06–1.15; 1.76–1.85; 2.74–2.83 м) и горы Тейбл (скв. TM-14, возраст мерзлых толщ >3 млн. лет, глубины отбора образцов: 0.08–0.15; 0.67–0.74; 1.68–1.80; 2.14–2.20 м) отбирали из кернов с соблюдением требований стерильности и до начала работ хранили при температуре –20 °С. Выполнены определения основных физико-химических характеристик образцов по общепринятым

⁵⁷ Работа выполнена в рамках Госзадания АААА-А18-118013190181-6 (0191-2019-0044).

методикам. Содержание $C_{\text{орг}}$ колебалось в пределах от 0.01 до 0.07%, pH в зоне нейтральной и щелочной среды, содержание растворимых солей во всех образцах было низким, с преобладанием ионов Na^+ и Cl^- . Проведено определение суммарной геномной ДНК для каждого образца. Экстракцию ДНК проводили с использованием DNeasy® PowerSoil Pro® Kit (Qiagen), концентрацию определяли флуориметрически. Количество ДНК, выделенное из образцов кернов, было очень низким и варьировало в пределах 0.13–0.19 нг/г для скв. PV-14 и 0.22–1.33 нг/г для скв. ТМ-14. Образцы из верхней части обеих скважин содержали наименьшие количества ДНК. С глубиной концентрация ДНК незначительно увеличивалась. Максимальное количество (1.33 нг/г) определено в скв. ТМ-14 на глубине 1.68–1.80 м. Путем прямых высевов из мерзлых и прединкубированных (при температуре 4 °C в течение 14 суток) образцов на агаризованные питательные среды R_2A , $\frac{1}{2}$ TSA, MA и двух температур инкубирования (4 и 20 °C) были выделены гетеротрофные аэробные микроорганизмы. Их численность определяли по количеству КОЕ на грамм сухого образца. Инкубация высевов из мерзлых образцов при 4°C не дала положительных результатов, а при инкубации при 20°C жизнеспособные микроорганизмы были выявлены только в образцах из скв. PV-14, в количестве от 1×10^2 до 4×10^3 КОЕ/г. Прединкубирование, мерзлых образцов, увеличило численность микроорганизмов, выделяемых из скв. PV-14 до 5×10^5 КОЕ/г и способствовало фиксации роста клеток в посевах из скв. ТМ-14, в количестве от 23 до 1×10^4 КОЕ/г. Жизнеспособные микроорганизмы из образцов скв. PV-14 и ТМ-14 были выявлены на всех, используемых, питательных средах. Таким образом, несмотря на большой выход общей геномной ДНК из образцов древних многолетнемерзлых отложений горы Тейбл, выявленных жизнеспособных клеток аэробных гетеротрофных микроорганизмов в них было меньше, чем в более молодых мерзлых отложениях долины Пирс. В ходе исследования в чистую культуру было выделено 60 бактериальных штаммов и на сегодняшний день идентифицировано пять. Таксономическую принадлежность определяли по результатам анализа нуклеотидных последовательностей 16S рДНК, с использованием универсальных бактериальных праймеров 28F и 1492R и сравнений их с данными NCBI. На основании филогенетического анализа, выделенные штаммы являются представителями филумов *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes*. Ближайшими культивируемыми штаммами с высоким процентом подобия для выделенных бактериальных штаммов были: *Altererythrobacter* sp. штамм TH136 MG450544 (100%) для штамма ТМ-14-1-А, *Microbacterium lacus* штамм XS25-5 MT000043 (99.85%) для штамма PV-14-1-А, *Paenibacillus* sp. штамм JG-TB26 FR849936 (99.72%) для штаммов PV-14-1-В и PV-14-3-А, *Paenibacillus humicus* JF970586 (99.15%) для штамма PV-14-4-А.

Литература

1. Gilichinsky D.A., Wilson G.S., Friedmann E.I., McKay C.P., Sletten R.S., Rivkina E.M., Vishnivetskaya T.A., Erokhina L.G., Ivanushkina N.E., Kochkina G.A., Shcherbakova V.A., Soina V.S., Spirina E.V., Vorobyova E.A. Microbial populations in Antarctic permafrost: biodiversity, state, age, and implication for astrobiology // *Astrobiology*. 2007. V. 7. N 2. P. 275-311.
2. Stomeo F., Makhalanyane T.P., Valverde A., Pointing S.B., Stevens M.I., Cary C.S., Tuffin M.I., Don A. Cowan Abiotic factors influence microbial diversity in permanently cold soil horizons of a maritime-associated Antarctic Dry Valley. *FEMS Microbiol Ecol*. 2012. 82: P. 326-340. DOI:10.1111/j.1574-6941.2012.01360.x.
3. Goordial J., Davila A., Lacelle D., Pollard W., Marinova M.M., Greer C.W., Di Ruggiero J., McKay C.P., Whyte L.G. Nearing the cold-arid limits of microbial life in permafrost of an upper dry valley, Antarctica. *The ISME Journal*. 2016. N 10. P. 1613-1624. DOI:10.1038/ismej.2015.239.

УДК: 631.46

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ И ДЫХАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ⁵⁸

А.К. Ходжаева, С.В. Губин

*ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцино,
akho2@rambler.ru*

Почвы береговой зоны морей Российской Арктики, выполняющие важнейшую экологическую роль, крайне слабо изучены, характеристики их микробных сообществ – фрагментарны. Почвенные микроорганизмы участвуют во множестве биохимических процессов связанных с циклами углерода, азота, серы, фосфора и содержание микробной биомассы и ее дыхательная активность могут служить показателями изменений вызванных как флуктуациями естественных природных условий, так и резко усиливающимся техногенным влиянием на береговые территории морей Российской Арктики. Цель работы – сравнить содержание микробной биомассы и изменение ее дыхательной активности в профилях двух рядов почв в районе береговой зоны Восточно-Сибирского моря испытывающих воздействие нагонных морских вод и лишенных их.

Образцы почв отбирали на побережье Восточно-Сибирского моря в районе впадения в него р. Б. Чукочьей. В ряду маритимных почв изучались синлитогенные почвы, формирующиеся на ваттах – участках, наиболее часто затопляемых морскими нагонными водами и испытывающих наиболее силь-

⁵⁸ Работа выполнена в рамках Госзадания АААА-А18-118013190181-6 (0191-2019-0044) и при поддержке гранта РФФИ № 19-04-00125.

ное засоление. Их профиль представлен толщей, включающей ряд прослоев погребенного грубого органического материала с признаками сульфитного засоления. Мерзлота на глубине 45 см, минерализация воды в профиле 4.4‰. На маршах – территориях, более удаленных от моря и реже затопляемых, изучались почвы, состоящие из прослоев оторфованного материала с признаками сульфитного засоления. Мощность СТС – 75 см, минерализация вод в разрезе 4.0‰. В зоне распространения травянистых маршей сформированы торфяно-глеевые почвы с организацией профиля Т-TG-G, без проявления признаков засоления, мощностью СТС – 50 см, минерализацией вод в профиле 0.2‰. В ряду наиболее типичных для рассматриваемых районов арктических тундр почв исследовались криоземы и глееземы. Криоземы, сформированные, на дренированных поверхностях всхолмленных возвышенностей (едомах), с организацией профиля АО-CR1-CR2-CR3-CRO. Характерной особенностью их строения является присутствие в минеральных частях профилей криотурбированного грубого органического материала, его аккумуляция в надмерзлотном горизонте, присутствие в профиле отдельных пятен грубой органики. Глеезем грубогумусированный, мерзлотный, сформирован на высокой террасе сошедшего термокарстового озера имеет организацию профиля – OT-G1-G2. Торфяно-глеезем мерзлотный с организацией профиля Ot-T-G, является наиболее широко распространенной почвой в арктических нанополигональных мохово-осоковых тундрах [Губин, Лупачев, 2017, 2020].

Скорость дыхания микроорганизмов (V_{basal} , мкл $\text{CO}_2/(\text{г ч})$) определяли в почвенных образцах при температурах инкубирования 4 и 20 °С. В качестве индекса общей микробной биомассы использовали количество (концентрацию) суммарной геномной ДНК. Для экстракции ДНК из почвенных образцов использовали Qiagen DNeasy® PowerSoil® Kit, концентрацию определяли флуориметрически. Пересчет количества ДНК в углерод микробной биомассы проводили по формуле: $C_{\text{мик}} (\text{мкг/г}) = F_{\text{DNA}} \cdot \text{dsDNA} (\text{мкг/г})$, где F_{DNA} – пересчетный коэффициент равный 6 [Joergensen and Emmerling, 2006]. Для учета численности аэробных гетеротрофных микроорганизмов (КОЕ/г) проводили прямые высевы из почвенных образцов на агаризованные питательные среды: «универсальную» для широкого спектра почвенных микроорганизмов и морской агар Зобелла для морских бактерий. Инкубирование проводили при двух температурах 4 и 20 °С. Основные аналитические исследования почв были выполнены по общепринятым методикам.

Содержание $C_{\text{мик}}$ варьировало в пределах от 3 до 606 мкг/г в профилях криозема и глееземов, и от 4 до 432 мкг/г в почвах маршей и ваттов. С глубиной содержание микробной биомассы уменьшалось в почвах обоих исследуемых рядов. В органогенных и органоминеральных горизонтах криозема и глееземов содержалось в 22 раза больше $C_{\text{мик}}$ по сравнению с минеральными частями профилей, а в ряду маритимных почв – в 17 раз.

Скорость дыхания микроорганизмов в образцах почв маршей и ваттов в среднем была в 2 раза выше, чем в типичном для арктических тундр криоземе и глееземах. Дыхательная активность почв обоих рядов также как и содержание $C_{\text{мик}}$ уменьшалась с глубиной. Для всех исследуемых почв и горизонтов скорость дыхания микроорганизмов при 4 °C была в ~5 раз ниже, чем при 20 °C. Численность аэробных гетеротрофных микроорганизмов выявляемых на «универсальной» питательной среде находилось в пределах 9×10^4 – 6×10^8 КОЕ/г в криоземе и глееземах, в почвах маршей и ваттов – от 2×10^6 до 7×10^8 . Для оценки влияния морских вод на различия в доминирующих популяциях микробных сообществ из образцов почв береговой зоны были проведены высевы на морской агар. Численность микроорганизмов в профилях криозема и глееземов, выявляемых на морском агаре, составляла <10% от общего количества и с понижением температуры уменьшалась. В ряду маритимных почв, численность КОЕ на морском агаре составляла >50% от общего количества и при понижении температуры – увеличивалась. Таким образом, почвы исследуемых рядов не значительно различались по содержанию углерода микробной биомассы в профилях, однако дыхательная активность почв маршей и ваттов была в 2 раза выше. Найдена достоверная ($P < 0.05$) корреляционная связь между содержанием $C_{\text{мик}}$ и дыхательной активностью почв как для криозема и глееземов ($r = 0.61$), так и для маритимных почв ($r = 0.58$). Микробные сообщества почв маритимного ряда характеризовались значительной (> 50%) численностью микроорганизмов выявляемых на морском агаре.

Литература

1. Губин С. В., Лупачев А. В. Почвы суглинистых водоразделов приморских тундр Севера Якутии: условия и процессы формирования. Почвоведение. 2017. № 2. С. 1-11.
2. Губин С. В., Лупачев А. В. Почвы и отложения озерно-аласных котловин тундр Колымской низменности. Почвоведение. 2020. №7. С. 775-790.
3. Joergensen R. G., Emmerling C. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass and diversity in agricultural soil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2006. Vol. 169. P. 295-309.

РОЛЬ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ФОРМИРОВАНИИ ЗИМНИХ ПОТОКОВ CO_2 ИЗ ПОЧВЫ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОГО ИМИТАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА⁵⁹

Д.А. Хорошаев, В.О. Лопес де Гереню, В.А. Жмурин,
И.Н. Курганова

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, d.khoroshaev@tutanota.com*

Последние два десятилетия на территории южного Подмоскovie наблюдаются статистически значимые тренды снижения продолжительности залегания и высоты снежного покрова [1]. Подобные изменения характера снежного покрова могут приводить к увеличению числа циклов заморозания-оттаивания почв и их общему охлаждению [1, 3]. Изменение гидротермического режима почв в холодный период года приводит к изменению эмиссии CO_2 в атмосферу как на сезонном, так и на годовом масштабе [3-5]. При этом, зимние потоки CO_2 из почвы в отличие от летних изучены относительно слабо. Недооценка зимних потоков CO_2 на годовом масштабе может приводить к значительной переоценке нетто-экосистемного обмена [2]. Цель работы заключалась в количественной оценке зимней эмиссии CO_2 из почв в условиях различной высоты снежного покрова.

Полевой манипуляционный эксперимент по влиянию высоты снежного покрова на эмиссию CO_2 из почвы проводился на экспериментальных площадках ИФХиБПП РАН в холодные сезоны 2014-17 гг. (Пущино, 54°49'51.1"N 37°36'18.2"E). Общая площадь экспериментального участка была разбита на 12 отдельных площадок по ~4 м², половина которых находилась под чистым паром, а другая – под сеяным лугом (злаково-бобовая травосмесь). Почва экспериментального участка – серая лесная среднесуглинистая (*Luvic Phaeozem*) с соотношением фракций песок:ил:глина = 1:1.8:2. Содержание общего углерода – 13.4 ± 0.9 г С/кг почвы. Схема эксперимента предполагала манипуляции со снежным покровом: (1) контроль с естественной высотой снежного покрова; (2) вариант с увеличенной высотой снежного покрова с помощью 15-см слоя синтепона, предотвращающим промерзание почвы; (3) вариант без снежного покрова. Определение интенсивности потоков CO_2 из почвы проводилось в среднем один раз в 3 дня, камерным методом с помощью инфракрасного газоанализатора LiCOR 820 (США).

В зависимости от года наблюдений суммарные потоки CO_2 из почвы за 4–5 зимних месяцев составили 35–416 и 34–147 г С/(м² × сезон) с луговых и паровых площадок, соответственно. Промерзание почвы снижало почвенное

⁵⁹ Работа выполнена в рамках Государственного задания (рег. № АААА-А18-118013190177-9) и при финансовой поддержке Программы Президиума РАН (рег. № 0191-2019-0045).

дыхание на 38–85% в зависимости от комбинации факторов. Эмиссия CO_2 с паровых площадок была в среднем на 51% ниже, чем с луговых. Потепление ранней весной приводило к оттаиванию почвы и вызывало усиление почвенного дыхания. За первые 10 дней весеннего оттаивания почв суммарные почвенные потоки CO_2 составляли 17–40% от общих зимних потоков CO_2 из почвы.

В отсутствие снежного покрова эмиссия CO_2 из почвы определялась температурой окружающей среды. После образования снежного покрова связь между температурой воздуха и почвы прерывалась. С этого времени дыхание почвы было обусловлено локальными гидротермическими условиями и, вероятно, теми биологическими процессами, которые формировались под снежным покровом. Снежный покров, при этом, является основным медиатором между климатом и процессами деструкции органического вещества почв в зимний период. Повторяющиеся циклы замерзания-оттаивания почв приводили к таким негативным явлениям как образование ледяных корок на снегу и поверхности почвы, уплотнение снежного покрова, а также временное переувлажнение за счет затрудненного дренажа талых вод. Вследствие перечисленных процессов наблюдалась значительная латеральная и временная изменчивость почвенного дыхания. В целом, частые наблюдения за зимней эмиссией CO_2 является необходимым условием надежных оценок в условиях высокой вариабельности потоков CO_2 из почв в холодный период года.

Литература

1. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Аблеева В.А., Быховец С.С. Климат южного Подмосковья: современные тренды и оценка аномальности // *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2017, Т. 4, С. 66-82.
2. Brooks P.D., McKnight D., Elder K. Carbon limitation of soil respiration under winter snowpacks: potential feedbacks between growing season and winter carbon fluxes // *Global Change Biology*, 2005, Vol. 11, Carbon limitation of soil respiration under winter snowpacks, No. 2, P. 231-238.
3. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D., Blagodatskaya E. Effect of snowpack pattern on cold-season CO_2 efflux from soils under temperate continental climate // *Geoderma*, 2017, Vol. 304, P.28-39.
4. Öquist M.G., Laudon H. Winter soil frost conditions in boreal forests control growing season soil CO_2 concentration and its atmospheric exchange // *Global Change Biology*, 2008, Vol. 14, No.12, P.2839-2847.
5. Reinmann A.B., Templer P.H. Increased soil respiration in response to experimentally reduced snow cover and increased soil freezing in a temperate deciduous forest // *Biogeochemistry*, 2018, Vol. 140, No.3, P.359-371.

РАЗНООБРАЗИЕ И МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАРБОНАТНЫХ АККУМУЛЯЦИЙ В ПОЧВАХ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА⁶⁰

О.С. Хохлова*, В.А. Голубцов**

**Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ул. Институтская, 2, Пуцино; olga_004@rambler.ru*

***Институт географии СО РАН, ул. Улан-Баторская, 1, Иркутск;
tea_88@inbox.ru*

Представлены результаты исследования карбонатных аккумуляций почв Байкальского региона, а именно, островных лесостепей Верхнего Приангарья и степных ландшафтов западного побережья оз. Байкал (Приольхонье). Климат территории – резкоконтинентальный. Специфика термического режима: длительное мерзлое состояние почвенной толщи, ее позднее оттаивание в весенне-летний период, криогенный подтип водного режима, т.е., недостаточное увлажнение при наличии поздно оттаивающей сезонной мерзлоты.

Карбонатные аккумуляции (КА) описаны в серии объектов (таблица). Основная цель работы: изучить разнообразие КА в почвах Байкальского региона микроморфологическим методом и представить условия и пути их формирования.

Белоглазка в почвах Н. Булая, Крестового и Федяевского – карбонатная цементация прежде разрозненных осколков карбонатной литогенной щебенки на фоне высокой биогенной активности и признаков переувлажнения почвы. Возможный генезис: растворение и перекристаллизация исходного литогенного карбонатного материала под влиянием выбросов мезофауны и сезонного переувлажнения профиля. Также и криогенное растрескивание играет определенную роль в «подготовке» литогенного карбонатного материала к перекристаллизации, формируя трещины на поверхности зерен.

Прожилки в Осиновом на микроуровне не отличаются от белоглазки, описанной выше в почвах других объектов. В Тайгурке-2 в обоих изучаемых горизонтах прожилки имеют фитоморфное происхождение. Это так называемые окаربоначенные корневые клетки, сложенные спаритом специфической формы, повторяющей форму растительных клеток. В Крестовом прожилки отчасти похожи на таковые в Тайгурке-2, но здесь карбонатным веществом заполняются ткани надземной части растений, а не корневые. Это псевдоморфозы (фитоморфозы), т.е., когда растительные остатки служат центрами кристаллизации карбонатного вещества и отчасти – задают и форму. В почвах Михайловки пустоты в буром почвенном материале заняты гипсовым материалом, поверх которого располагаются КА: микроспаритовые

⁶⁰ Работа выполнена по теме Государственного задания № 0191-2019-0046.

Объект	Расположение	Классификационное положение почвы	Профиль, горизонты	КА на макро-уровне
Нижний Булай	Верхнее Приангарье	Чернозем сегрегационно-карбонатный (погребенный)	Ad-AY-RU-[AU]-AUB-BCAnc-C	Белоглазка
Крестовый	Приольхонье	Черноземы миграционно-сегрегационные	AUyu-BCAnc-Cca,mc	Белоглазка, прожилки
Федяевский	В. Приангарье	Чернозем сегрегационно-карбонатный	AU-BCAnc-Cca-C	Белоглазка
Осиновый	В. Приангарье	Серые метаморфические	AY-AEL-BMic-Cca,ic	Прожилки
Тайтурка-2	В. Приангарье	Черноземы глинисто-иллювиальные	AU-Blyu-BCaAic-Cca,ic	Прожилки, кутаны
Михайловка	В. Приангарье	Чернозем выщелоченный	AU-AUB-BI-BCA-Cca-C	Прожилки
Сарма	Приольхонье	Криоаридные почвы	AK-BPLic-BCaAic-BCca,ic-Cca	Карбонатные кутаны
Хорга	Приольхонье	Светлогумусовые почвы	AJ-AB-(BCic)-Cca,ic	К. кутаны
Узкий Луг	В. Приангарье	Темногумусовые остаточно-карбонатные	AU-AUCca,ic-R	К. кутаны
Улан-Цацык	Ю-В Забайкалье	Черноземы выщелоченный	AU-AUB-BI-BCA-BCca-C	К кутаны
Холмушино	В. Приангарье	Псаммоземы гумусовые	W-Cf-C	Ризолиты

зерна карбонатов. Вероятно, эти гипсово-карбонатные аккумуляции имеют непедогенное происхождение.

Карбонатные кутаны в почвах объектов Узкий Луг, Тайтурка-2 и Улан-Цацык представлены скрытокристаллической и микритово-микроспаритовой массой натечного карбонатного вещества на каменном материале, окрашенного в разной степени оксидами Fe и органическим веществом. Процесс образования рассматриваемых натечков незакономерный и подвержен нарушениям в результате малейших изменений внешних условий, ведь ни в одном из объектов не отмечено однородного по толщине и простираению карбонатного материала вдоль всей кромки прикрепления натека к камню. При больших увеличениях отмечено упорядоченное расположение бурых пятен, напоминающих колонии микроорганизмов. Согласно литературным данным, микроорганизмы могут играть определенную роль в образовании и перекристаллизации карбонатного вещества в натеках. В почвах объектов

Хорга и Сарма в микростроении карбонатных кутан отмечены различия, связанные с иными, чем в вышеописанных трех объектах, условиями их образования.

Ризолиты в песчаных почвах Холмушина на микроуровне демонстрируют деление на центральную часть и периферию. В первой видно чередование глинисто-карбонатного и карбонатно-глинисто-железистого тонкодисперсного материала. Карбонатно-глинистый материал, окрашенный оксидами Fe, приурочен к порам с ожелезненными растительными остатками. Периферия ризолитов неоднородна и разделяется по степени пропитки карбонатами. Внешние слои сложены сыпучим песком, почти не пропитанным карбонатами.

Карбонатный профиль почв Байкальского региона – довольно консервативное образование, часто унаследованное от прошлых геологических эпох, не испытывающее либо испытывающее слабые трансформации при современных климатических условиях.

УДК 631.41

АККУМУЛЯЦИЯ ZN РАСТЕНИЯМИ ТРОСТНИКА ЮЖНОГО (*PHRAGMITES AUSTRALIS* CAV.) В ИМПАКТНОЙ ЗОНЕ КАМЕНСК-ШАХИНСКОГО РАЙОНА (РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)⁶¹

В.А. Чаплыгин, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, Ю.А. Литвинов

Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, e-mail: otshelnic87.ru@mail.ru

На территории Ростовской области расположено большое количество промышленных предприятий, оказывающих серьезное негативное воздействие на экологическое состояние окружающей среды. Одними из самых широко распространенных и, одновременно с этим, опасных для здоровья человека загрязняющих веществ являются тяжелые металлы (ТМ). В отличие от органических загрязнителей, биodeградация ТМ не происходит и, следовательно, они непрерывно накапливаются в окружающей среде. Это свойство ТМ создает необходимость в проведении исследований, направленных на разработку методов ремедиации загрязненных ТМ почв.

Рядом авторов [3] показано, что использование группировок тростника южного (*Phragmites australis* Cav.) для целей фиторемедиации высокозагрязненных прудов-отстойников и очистки систем сточных вод показало высокую эффективность. Поэтому данное растение было выбрано объектом представленного исследования.

⁶¹ Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ 20-14-00317.

Озеро Атаманское находится в пойме реки Северский Донец – главного притока Дона и с начала 50-х годов используется в качестве резервуара для сброса промстоков завода «Химволокно». Сброс промстоков продолжался до середины 90-х годов, превратив озеро в шламонакопитель. В настоящее время озеро уже не используется в качестве резервуара для сброса промстоков, но является вторичным источником загрязнения.

Площадки мониторинга были заложены на расстоянии от 100 м до 1,4 км от места сброса промышленных стоков на территории озера и в прилегающей к нему прибрежной зоне. Минерализацию проб проводили методом сухого озоления согласно ГОСТ 26929-94. Экстракция Zn из золы осуществлялась растворением в 20%-ном растворе HCl с последующим определением методом ААС [2]. Оценка загрязнения тростника поводилась путем сравнения концентрации Zn в растениях с максимально допустимым уровнем (МДУ) его содержания в кормах сельскохозяйственных животных [1].

Определено, что концентрации ТМ в растениях тростника южного (*Phragmites australis* Cav.) наиболее удаленных от загрязненной территории контрольных площадок мониторинга № 1 и № 2 согласуются с его фоновым содержанием (табл. 1). Наблюдается обратная зависимость содержания металлов в растениях от расстояния до места сброса сточных вод. Установлено, что приоритетным загрязняющим металлом в растениях исследуемой территории является Zn.

Во всех растительных образцах площадок мониторинга, прилегающих к оз. Атаманское, установлены превышения МДУ для Zn, которые составляют от 3,5 до 19,7 раз (табл. 1). Особенно высокие концентрации Zn отмечаются на площадках – № 5-7, которые находятся в радиусе 0,4 км от «очага загрязнения» промстоками. Показано, что растения тростника южного (*Phragmites australis* Cav.) являются аккумуляторами доминирующего поллютанта – Zn

Содержание Zn в растениях тростника южного (n=3), мг/кг

№ площадки и расстояние от места сброса	Zn	
	Стебли	Корни
1 (1,4 км)	24,0±1,3	30,5±2,4
2 (1,2 км)	28,0±1,6	35,7±1,2
3 (0,8 км)	175,1±11,6	456,1±23,8
4 (0,6 км)	202,2±13,6	245,2±15,9
5 (0,4 км)	651,7±19,5	718,9±25,6
6 (0,2 км)	835,6±27,4	953,9±58,0
7 (0,1 км)	985,0±46,0	1095,7±67,3
МДУ для трав [1]	50,0	
Фоновое содержание	6,0±1,2	8,2±1,6

Примечание: жирным шрифтом выделено превышение над МДУ.

в силу их морфолого-анатомического и физиологического строения. В тростнике наибольшие концентрации ТМ депонируются в корневой системе, известной своей высокой аккумулирующей активностью.

Литература

1. Временные максимально допустимые уровни (МДУ) некоторых химических элементов госсипола в кормах сельскохозяйственных животных. Утвержден Главным Управлением Ветеринарии министерства сельского хозяйства РФ, 1991.
2. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
3. Fawzy M.A., Badr El-sayed N., El-Khatib A., El-Kassem Abo. Heavy metal biomonitoring and phytoremediation potentialities of aquatic macrophytes in River Nile. Environ. Monitor. Assess. 2012. Vol. 184. P. 1753-1771.

УДК: 631.4

ФОРМИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ПОД ЛЕСОПОЛОСАМИ И НА ПАШНЯХ⁶²

Ю.Г. Чендев*, А.Н. Геннадиев, С.В. Лукин***, Е.А. Заздравных*****

**Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Chendev@bsu.edu.ru*

***МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, alexagenna@mail.ru*

****Центр агрохимической службы «Белгородский», Белгород,
serg.lukin2010@yandex.ru*

Тема агролесомелиорации в почвоведении и сельском хозяйстве в советское время была одной из самых важных, популярных и широко обсуждаемых на государственных и научных мероприятиях разного уровня (Агролесомелиорация..., 1991; и др.). Главный экономический эффект агролесомелиорации состоял в повышении урожайности сельскохозяйственных культур (Kort, 1988), а главный экологический эффект – в защите почв от деградации и эрозии, а также в создании среды обитания и экологических коридоров для многих представителей флоры и фауны (Мильков и др., 1991). В постсоветский период тема агролесомелиорации оказалась незаслуженно забытой и средства на агролесомелиоративные мероприятия в масштабе страны в настоящее время почти не выделяются (Ерусалимский, Рыжков, 2017). Обсуждение проблемы агролесомелиорации требует возрождения и новых путей решения многих, возникающих в связи с ней, вопросов. Для сбора и анализа сведений о влиянии длительно функционирующих лесополос на лесостепные почвы, на юге Среднерус-

⁶² Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, проект № 19-17-00056.

ской возвышенности (Белгородская область) выполняется многолетний эксперимент, который, наряду с другими аспектами, включает анализ пространственных изменений почвенных свойств, обусловленных длительным функционированием лесополос.

Цель исследования заключается в выявлении пространственных отличий морфологических свойств черноземов под лесополосами и на рядом расположенных пашнях.

Объектами исследования являются черноземы, сопряженные с широкими (30 м) 5–8-рядными полезащитными лесополосами меридиональной ориентировки (для достижения равноэкспозиционного влияния на прилегающие почвы), возраста 50–65 лет, произрастающими на ровных водоразделах и окруженных с двух сторон пашнями. Древостои состоят из посадок лиственных пород деревьев: дуба, ясеня, клена американского, вяза. Черноземы под изученными лесополосами до момента посадки деревьев прошли пахотную стадию развития. На полях рядом с изученными лесополосами используются традиционные приемы обработки почв и выращивания сельскохозяйственных культур: на крайнем западе и в центральной части Белгородской области (участки Бондарев и Терновка) хозяйства специализируются на выращивании паропропашных культур, а в восточной части области (участок Приветный, крайний юг лесостепи) в структуре севооборотов возрастает роль технических и эфирно-масличных культур. Наиболее распространенными способами обработки почв является отвальная вспашка с оборотом пласта, а также (для выращивания ряда культур) более мелкая вспашка с помощью дискования. Мощность пахотного горизонта в изученных почвах составляет 25–30 см. В структуре почвенного покрова трех изученных участков фоновыми компонентами выступают черноземы типичные среднемощные средне- и тяжелосуглинистые (участки Бондарев и Приветный), а также черноземы выщелоченные среднемощные тяжелосуглинистые (на участке Терновка). Почвообразующими породами служат карбонатные лессовидные суглинки (в западной и центральной частях Белгородской области) и карбонатные лессовидные легкие глины (на востоке области).

Методика исследования включала заложение и полнопрофильное описание почвенных разрезов в центральных (осевых) частях лесополос и на пахотных полях с двух сторон лесополос на удалении 10, 30 и 60 м от их краев.

Главные полученные результаты проведенных исследований формулируются следующими положениями.

1. За 50–65-летний период произрастания лесополос, в профилях почв под лесополосами увеличилась мощность гумусовых горизонтов ($A_1=51$ см) и гумусовых профилей ($A_1+A_{1B}+BA_1= 83$ см) по сравнению с пахотными аналогами (48 и 69 см соответственно). Произошло понижение линии вскипания (в почвах лесополос средняя глубина залегания карбонатов составляет 97 см, а на прилегающих пашнях – 63 см). Эти изменения привели к трансформации классификационного статуса изученных

среднестатистических черноземов: под древесными лесонасаждениями формируются черноземы выщелоченные мощные, а на пашнях – черноземы типичные среднемощные. Ранг различий сравниваемых почв, возникших за относительно короткое время, соотносится с многовековыми трендами эволюции почвообразования в результате изменений климата в голоцене (Геннадиев, 1990).

2. Выявлен направленный рост мощности гумусовых горизонтов и гумусовых профилей черноземов по направлению от дальних (60 м от края лесополос) точек исследования почв на пашне к центру лесополос. Эти изменения выражены как на западном, так и на восточном участках пашен относительно лесополос. Средняя величина прироста мощности гумусовых профилей черноземов по направлению к лесополосам составляет 3 см / 10 метров. Линия вскипания в черноземах пашен не обнаруживает пространственных изменений по мере приближения или удаления от лесополос: при смене лесополосы пахотным угодьем происходит скачкообразное повышение линии вскипания в среднем с 97 до 63 см.

3. Важными индикаторами пространственных различий морфологических свойств почв на пашнях и под лесополосами являются почвенные новообразования. Например, признаками нисходящей миграции веществ в относительно прохладном микроклимате под пологом древесной растительности служит формирование слабых зон осветления (фрагментарного налета скелетан) в нижней половине гумусированной части почвенных профилей, образование в гор. В серовато-бурой органо-минеральной пропитки почвенных агрегатов, а также появление буро-серых пленок иллювиирования на гранях ореховатых и призматичных отдельностей. Если в пахотных черноземах довольно часто встречаются выцветы карбонатной плесени как свидетельства широкой мобильности карбонатов в своеобразном климатическом режиме на пашне, то под лесополосами карбонаты, как правило, локализованы в гор. ВСК и СК, имеют резкую границу с вышележащей бескарбонатной частью профиля, и представлены желто-белесыми (до 2 мм толщиной) трубочками, т.е. менее мобильными формами, чем на пашне.

Литература

1. Агролесомелиорация и плодородие почв. Под ред. Е.С. Павловского. М.: Агропропиздат, 1991. 288 с.
2. Геннадиев А.Н. Почвы и время: модели развития. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 232 с.
3. Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений. Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 88. С. 121–137.
4. Мильков Ф.Н., Нестеров А.И., Петров П.Г. и др. Каменная степь: Лесоаграрные ландшафты. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1992. 224 с.
5. Kort J. Benefits of windbreaks to field and forage crops // *Agricultural Ecosystems and Environment*. 1988. Vol. 22/23. Pp. 165–190.

ОСОБЕННОСТИ ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЧЕРНОЗЕМОВ В СЕРЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ НА РАЗНЫХ ПОРОДАХ⁶³

Ю.Г. Чендев*, И.В. Иванов, А.Л. Александровский***,
В.Г. Белеванцев***

**Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Chendev@bsu.edu.ru*

***ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцино,
ivanov-v-28@mail.ru*

****Институт географии РАН, Москва, alexandrovskiy@mail.ru*

В свете исследований последних лет все более очевидной становится обнаруженная ранее, но все еще дискуссионная закономерность позднеголоценового процесса надвигания леса на степь и трансформации черноземов в серые лесные почвы [1–4].

В данной работе авторы приводят примеры такой трансформации, изученной на 8 участках лесостепи центра Восточно-Европейской равнины (Липецкая, Воронежская, Белгородская, Харьковская области), 4 из которых находятся на территории распространения средних лессовидных суглинков (почвообразующих пород), и 4 – на территории распространения более легких отложений – песков и супесей. Все места исследований соответствуют придолинным участкам водоразделов (в непосредственной близости от долин рек Воронеж, Ворскла, Ольшанка (приток Оскола), Северский Донец, Уды) которые широколиственные леса заняли на протяжении последних 2 тысячелетий, а ранее эти участки были покрыты лугово-степной растительностью на черноземных почвах. Такие выводы были сделаны после детальных почвенно-археологических исследований, показавших, что на всех рассматриваемых участках под земляными валами городищ раннего железного века и в одном случае раннего средневековья присутствуют погребенные черноземы типичные, выщелоченные и оподзоленные, тогда как фоновыми (современными) аналогами выступают хорошо сформированные серые и темно-серые лесные почвы. Свойства погребенных черноземов с достаточно мощными гумусоаккумулятивными горизонтами и со следами роющей деятельности степных животных – слепышей, – свидетельствуют об их степном генезисе и только в некоторых случаях – лишь о начальной стадии трансформации под лесной растительностью (пленки иллювиирования на поверхности агрегатов в гор. В, местами седоватый налет скелетан в нижней части гумусовых профилей).

Главной задачей исследования было определить – насколько заметны отличия в эволюционной трансформации черноземов в серые лесные почвы на породах разного состава – песчаного, супесчаного и среднесуглинистого.

⁶³ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 19-29-05012.

На породах более легкого состава погребенные под оборонительными валами городищ почвы представлены черноземами выщелоченными и оподзоленными, а на лессовидных суглинках – черноземами типичными и выщелоченными. Фоновыми почвами на легких породах являются представители подтипа серых лесных почв, а на более тяжелых породах – подтипа темно-серых лесных почв.

На основании анализа выборок, состоящих из 4-х участков, в почвах на легких породах ощутимо (в среднем на 20 см) произошло сокращение мощности гумусоаккумулятивной части профиля (гор. A1+A1B(AU+AB) заместились на гор. A1+A1A2(AYEL)), заметно (на 34 см) возросла иллювиальная часть профиля, тогда как указанные изменения в почвах на суглинках составили 5 и 29 см соответственно. В зоне элювиирования почв на всех участках появились гор. A1A2 и A2B(ELB), а в почвах на легких породах между указанными горизонтами в ряде случаев также возник гор. A2(EL). Если в почвах на суглинках развитие иллювиальной части профиля происходило преимущественно за счет сокращения мощности гор. BC, то в почвах на песках и супесях процесс роста гор. B (на продвинутой стадии эволюции – Bt и Bff) также сопровождался сопряженным наращиванием мощности гор. BC, т.е. процесс роста зоны иллювиирования в почвах на легких породах развивался активнее и глубже.

Как показал сравнительный анализ профильного распределения илистой фракции в погребенных и фоновых почвах, формирование текстурной дифференциации почв более интенсивно происходило на породах легкого гранулометрического состава. Особенностью образования иллювиальных горизонтов серых лесных почв на песках и супесях было направленное во времени увеличение в средней части профиля количества глинистых ламелл (псевдофибр) в гор. Bff, рост мощности каждой ламеллы и, в конечном счете, соединение ламелл в плотные бурые суглинистые горизонты Bt с кутанами иллювиирования по крупноореховатым и призматичным агрегатам. Вместе с тем в этих горизонтах сохраняется заметное количество песка.

Таким образом, на более легких породах наблюдалась более контрастная эволюционная трансформация черноземов в серые лесные почвы по сравнению с почвами, формирующимися на суглинках. Как уже ранее отмечалось, последовательные изменения профилей оказавшихся под лесами черноземов в серые лесные почвы объясняются не плавным изменением климата в сторону увлажнения в последние 2500 лет, а постепенным развитием профилей темно-серых лесных почв в относительно стабильных условиях после резкого изменения климата и облесения многих степных участков лесостепи около 3500 л.н. [1]. Данный вывод дополнен представленными выше результатами эволюционной трансформации черноземов разного гранулометрического состава в подтипы серых лесных почв в стабильных условиях микроклимата под широколиственными лесами в позднем голоцене.

Литература

1. Александровский А.Л. Природная среда Верхнего Подонья во второй половине голоцена (по данным изучения палеопочв городищ раннего железного века) // Археологические памятники Верхнего Подонья первой половины I тысячелетия н.э. / Отв. ред. А.П.Медведев. Воронеж, 1998. С. 194-199.
2. Ахтырцев Б.П. К истории формирования серых лесных почв Среднерусской лесостепи // Почвоведение. 1992. № 3. С. 5-18.
3. Чендев Ю.Г., Александровский А.Л. Почвы и природная среда бассейна реки Воронеж во второй половине голоцена // Почвоведение. 2002. № 4. С. 389-397.
4. Rusakov A, Makeev A, Khokhlova O, Kust P, Lebedeva M, Chernov T, Golyeva A, Popov A, Kurbanova F, and Puzanova T. Paleoenvironmental reconstruction based on soils buried under Scythian fortification in the southern forest-steppe area of the East European Plain Quaternary International. 2018, v.502, 197-217. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.016>

УДК: 631.453

ВОЗДЕЙСТВИЕ БЕНЗ(А)ПИРЕНА НА СТРУКТУРУ ТКАНЕЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ⁶⁴

Н.П. Черникова, А.Г. Федоренко, Т.М. Минкина, С.Н. Сушкова

*Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону,
nat.tchernikova2013@yandex.ru*

Почва как природное тело, аккумулирует загрязнители и, тем самым является опосредованным источником загрязнения выращиваемой сельскохозяйственной продукции. К широко распространенным химическим загрязнителям относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), среди которых наибольшей канцерогенной активностью обладает бенз(а)пирен (БаП). Возможность поступления сложных органических молекул в растения через корневую систему и их дальнейшая ассимиляция в растениях считается хорошо доказанным фактом, согласующимся с теорией органического питания растений [2]. Установлено, что биоаккумуляция ПАУ в растениях является значительной даже при очень низких уровнях загрязнения почвы, эти соединения ингибируют физиологические процессы в растениях, что отражается прежде всего в структурных изменениях тканей и клеток растений.

Целью работы являлось изучение воздействия 1 ПДК БаП в почве на тканевую уровень организации ярового ячменя.

Для выполнения поставленной цели был заложен модельный вегетационный опыт. Полиэтиленовые сосуды объемом 4 л с дренажной системой,

⁶⁴ Работа выполнена в рамках госзадания Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 0852-2020-0029) и гранта Президента № МК-3476.2017.5.

заполняли почвой – черноземом обыкновенным карбонатным (0–20 см), очищенным от растительных остатков и просеянным через сито 2 мм. Вес почвы в сосудах составил 2 кг. Почву модельного эксперимента искусственно загрязняли БАП в количестве 20 нг/г., что соответствует 1 ПДК БАП [3]. Раствор органического поллютанта в ацетонитриле вносили на поверхность почвы. Спустя 1 месяца инкубации производили посев ярового ячменя (*Hordeum sativum distichum*) сорта «Одесский-100» в количестве 20 шт. на сосуд.

Для светооптического микроскопического исследования из растений в фазу колошения брали высечки в центральной части второго или третьего листа (2х2 мм) и зоны корневых волосков (2 мм). Все этапы подготовки ткани к морфологическому наблюдению: контрастирование, обезвоживание, заключение в полимеризующую смесь, получение и окрашивание полутонких срезов для светооптического изучения, проводили с использованием общепринятых методических приемов [1].

Анатомическое строение корня контрольного образца представлено покровной тканью с корневыми волосками, первичной корой, состоящей из трех четко отличающихся друг от друга слоев: экзодермой, мезодермой и эндодермой, и центральным цилиндром. Оказалось, что в варианте ячменя, выращенного на почве, загрязненной БАП, наблюдается деградация покровной ткани и нарушение упорядоченного расположения клеток первичной коры. Количество клеток на 1 мм² коры увеличивается, но их размер уменьшается по сравнению с контролем, они составляют от одного до двух слоев, при этом размер клеток эндодермального слоя увеличивается. Центральный цилиндр занимает в среднем значительно большую долю от общего сечения корня, чем в контрольном образце. Структуры меристематических клеток и клеток проводящих тканей не нарушены, сосудистые пучки, как и в контроле, построены по радиальному типу.

Анализ светооптических фотографий листовой ткани растений ячменя, выращенных при загрязнении, показал, что структура клеток мезофилла идентична строению и локализации клеток контрольного образца. Хлоренхима не имеет четко выраженного деления на столбчатый и губчатый мезофилл, устьица расположены на обеих сторонах эпидермиса. Клетки мезофилла равномерно распределены в листовой пластине и имеют в основном округлую форму. Проводящие пучки окружены склеренхимой и обкладочными клетками. Межклеточное пространство выражено сильнее, чем у контрольного образца. На основе морфометрического анализа выявлено, что средняя площадь клетки паренхимы и число пластид на клетку на варианте с внесением БАП увеличиваются по отношению к контролю.

Таким образом, внесение в почву 1 ПДК БАП способствовало накоплению поллютанта в яровом ячмене, вызвав структурные изменения в тканях растений. Более существенные нарушения обнаружены в корнях растений, при этом локализация клеток в тканях листьев в результате поступления БАП

в растения не изменилась. Выявленные структурные изменения в корнях и листьях напрямую влияют на процессы метаболизма, что отрицательно сказывается на физиологических процессах растения.

Литература

1. Fedorenko, G. M., Fedorenko, A. G., Minkina, T. M., Mandzhieva, S. S., Rajput, V. D., Usatov, A. V., & Sushkova, S. N. (2018). Method for hydrophytic plant sample preparation for light and electron microscopy (studies on *Phragmites australis* Cav.). *MethodsX*, 5, 1213-1220.
2. Zaalishvili, G. V., Khatishashvili, G. A., Ugrkheldidze, D. S., Gordeziani, M. S., & Kvesitadze, G. I. (2000). Plant potential for detoxification. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 36(5), 443-451.
3. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.

УДК 574.4

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ СИБИРИ⁶⁵

О.В. Честных*, **, В.И. Грабовский, Д.Г. Замолотчиков****

**Биологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, , Москва*

***Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва*

В предлагаемой работе произведены оценки запасов углерода почв на уровне официально утвержденных эколого-административных пространственных единиц – лесных районов (приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18 августа 2014 г. № 367). Данные оценены с учетом распространенности в регионе местообитаний, в которых произведен каждый почвенный разрез. Такой подход позволяет получить взвешенные по типам местообитаний региональные оценки запасов углерода, легко интегрируемые в экосистемные оценки углеродного бюджета.

Цель настоящей работы – оценка запасов углерода в почвах Западной и Восточной Сибири в представлении по трем слоям почвенной толщи (0–30, 0–50, 0–100 см) с дифференциацией по лесным районам.

Двумя авторами настоящей работы ранее по материалам открытых публикаций была создана база данных «Почвенные характеристики Северной Евразии» [1]. Эта база служила основой для расчетов запасов углерода и азота в почвах лесов и тундр России [2]. Расчеты типовых значений угле-

⁶⁵ Работа выполнена в рамках темы 27-3-16 № АААА-А16-116021850006-4 Биологического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова (анализ данных) и темы № АААА-А18– 118052400130–7 Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (моделирование).

рода почвы выполнены на основе этой базы. Всего отобрано 518 почвенных разрезов, содержащих все необходимые для анализа данные: координаты, расчетные данные по содержанию углерода на различных почвенных уровнях (в слоях 0–30, 0–50 и 0–100 см), а также данные о биотопе, в котором проводился разрез.

Были использованы данные: 1. БД ГУЛф 2008 – последняя база с представлением отдельных лесхозов; 2. Данные по почвенным разрезам с указанием координат. По ГУЛф 2008 рассчитаны доли площадей лесных земель, занимаемых разными «биотопами». «Биотопами» (далее без кавычек) в этой работе мы называем либо категории лесных земель, не покрытых лесной растительностью (луга, пашни и т.д.), либо доминирующие породы в лесных землях, покрытых лесной растительностью (береза, ель, сосна и т.д.) Методом «пространственного соединения» из инструментария ArcGIS получены списки лесхозов, составляющих лесные районы. По этим спискам и долям площадей составлены доли земель различных категорий для лесных районов в целом.

Для определения пространственной дифференциации средних значений все присутствовавшие в базе разрезы, расположенные в Сибири, распределены по лесным районам через их координаты. Установлены принадлежность каждого разреза к лесному району, а по описаниям разрезов – к биотопу. Исходя из этих долей и средних значений запасов углерода по каждому биотопу получены средние значения углерода почв для лесных районов. Таким образом, средние показатели углерода почв рассчитывались взвешиванием данных по долям представленности данного биотопа в соответствующем лесном районе. Полученные суммарные и средние запасы почвенного углерода приведены в таблице.

Получены карты распределения запасов углерода почв для Западной и Восточной Сибири в отношении разных глубин разрезов.

Итоговые данные несколько ниже полученных ранее авторами, поскольку была использована принципиально отличная пространственная группиров-

Запасы углерода в почвенных слоях лесных районов для Западной и Восточной Сибири России

Регион	Площадь, 10 ⁶ га	Слой, см					
		0-30		0-50		0-100	
		10 ⁶ т С	т С га ⁻¹	10 ⁶ т С	т С га ⁻¹	10 ⁶ т С	т С га ⁻¹
Западная Сибирь	156	15692	100±36	18176	116±43	21592	138±47
Восточная Сибирь	629	62041	99±25	76718	122±29	98740	157±34
Всего Сибирь	786	77732	99±21	94893	121±24	120332	153±29

Примечание: Оценки в т С га⁻¹ представлены средними значениями ±SE (стандартной ошибкой).

ка с получением взвешенных средних в зависимости от представленности лесообразующих пород.

Литература

1. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. БД «Почвенные характеристики Северной Евразии», свидетельство о гос.регистрации БД в Федеральной службе интеллектуальной собственности № 2018621164 от 17.05.2018 г.
2. Честных О.В. Замолодчиков Д.Г. Запасы органического углерода в почвах лесов России //Природные и антропогенные экосистемы: проблемы и решения. 2017, место издания БИБЛИО–ГЛОБУС г. Москва, ISBN 978-5-6040237-3-0. С. 19-60.

УДК: 546.48: 549.252: 631.484

ПРИМЕНЕНИЕ СТИМУЛИРУЮЩИХ РОСТ РАСТЕНИЙ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ: ПЕРСПЕКТИВЫ В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ КАДМИЕМ И СВИНЦОМ ПОЧВЫ

В.П. Шабаев

ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН», Пуцзино,
VPSH@rambler.ru

Кадмий (Cd) и свинец (Pb) являются тяжелыми металлами (ТМ) и одними из наиболее опасных и токсичных загрязнителей биосферы. В настоящее время в качестве одной из стратегий ремедиации загрязненных ТМ почв рассматривается возможность использования микробно-растительных ассоциаций (Hansda et al., 2014). В последнее десятилетие наблюдается возрастающий интерес к ростстимулирующим ризосферным бактериям (PGPR – plant growth promoting rhizobacteria), способных существенно влиять на поступление ТМ в растения и их устойчивость к ТМ (Hansda et al., 2014; Анохина и др., 2018). Среди PGPR особое внимание привлекают представители рода *Pseudomonas* благодаря широкой распространенности и присущей им совокупности полезных для растений свойств (Dorje et al., 2017). Несмотря на существенную роль, которую играют бактерии во взаимодействии с растениями и почвенной средой, исследований, направленных на изучение ремедиации загрязненных ТМ почв под влиянием этих бактерий, в том числе почвенных и растительных механизмов этого процесса, проведено относительно немного.

Объектами исследования были 21-й штамм бактерии *P. fluorescens* и 23-й штамм бактерии *P. putida* 23, которые стимулировали рост и повышали биомассу различных культурных растений (Шабаев, 2006). В серии вегетационных опытов, проведенных при выращивании растений ячменя на агросерой почве, внесение бактерий при искусственном загрязнении

почвы Cd и Pb полностью устраняло токсическое действие ТМ, обеспечивая получение не меньшей вегетативной массы и зерна, как и на не загрязненной почве без бактериальных инокуляций. Содержание ТМ в вегетативной массе инокулированных бактериями растений уменьшилось до 2-х и более раз, в зерне – было незначительным. Устойчивость растений, подвергнутых кадмиевому и свинцовому стрессу, при внесении бактерий была обусловлена усилением роста корневой системы, и повышением накоплением Pb в корнях и пониженным поступлением Cd в корни и улучшением минерального питания растений. Бактерии увеличили вынос питательных элементов урожаем из почвы вследствие стимуляции роста растений в целом без существенных изменений концентраций макроэлементов N, P, K, Ca и Mg, а также Fe и микроэлементов Zn, Mn и Cu в растениях, в том числе в зерне. На примере внесения *P. fluorescens* 21 установлено увеличение содержания ТМ в составе органических соединений почвы, экстрагируемых пирофосфатом калия в первой половине вегетационного периода. Это, вероятно, обусловлено образованием нерастворимых комплексов и секвестированием ТМ бактериальными сидерофорами (Zawadzka et al., 2009), об этом косвенно свидетельствует неизменность реакции почвенной среды, влияющей на подвижность двухвалентных катионов в почве. Следовательно, присутствие бактерий в составе микробно-растительной ассоциации уменьшило биодоступность Cd и Pb.

Таким образом, повышение устойчивости растений к Cd и Pb при загрязнении почвы под влиянием внесения ростстимулирующих бактерий было обусловлено уменьшением поступления ТМ в растения, повышенным ростом корней и увеличением накопления Pb в корнях и, напротив, уменьшением поступления Cd в корни, и увеличением закрепления обоих ТМ в почвенной органической фракции. Кроме того, бактерии улучшили минеральное питание растений в загрязненных условиях, не изменяя элементного химического состава растений. Применение бактерий может быть рекомендовано при разработке стратегий фиторемедиации загрязненных Cd и Pb почв на основе экологически безопасных технологий без потерь продуктивности и качества сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Hansda A., Kumar V., Anshumali A., Usmani Z. Phytoremediation of heavy metals contaminated soil using plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A current perspective // Recent Research in Science and Technology. 2014. V. 6. № 1. P. 131–134.
2. Анохина Т.О., Сиунова Т.В., Сизова О.И., Захарченко Н.С., Кочетков В.В. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas* в современных агrobiотехнологиях // Агрохимия. 2018. № 10. С. 54–66.
3. Dorjey S., Dolkar D., Sharma R. Plant growth promoting rhizobacteria *Pseudomonas*: A review // International Journal Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. V. 6. № 7. P. 1335–1344.

4. Шабает В.П. Микробиологическая азотфиксация и рост растений при внесении ризосферных микроорганизмов и минеральных удобрений // Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. М.: Наука, 2006. С. 195–211.
5. Zawadzka A.M., Paszczyński A.J., Crawford R.L. Transformations of toxic metals and metalloids by *Pseudomonas stutzeri* strain KC and its siderophore pyridine-2,6-bis (thiocarboxylic acid) // Advances in Applied Bioremediation (Soil Biology 17) / Eds Singh A., Kuhad R.C., Ward O.P. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. P. 221–238.

УДК 631.41

ПОЧВЫ ГОРНОЙ КАТЕНА ПОЛЯРНОГО УРАЛА: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, РАЗНООБРАЗИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА⁶⁶

Е.В. Шамрикова, Е.В. Жангуров, Е.Е. Кулюгина, О.С. Кубик

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
Сыктывкар, shamrik@ib.komisc.ru*

Почвы арктической и субарктической территорий являются актуальным объектом для географо-генетических исследований и выявления роли органического вещества в процессах почвообразования [1]. Слабая изученность горной ландшафтной зоны Полярного Урала и пестрота почв, обусловленная разнообразием горных почвообразующих пород, делают исследования в этой области необходимыми [2].

Цель работы – выявление закономерностей распределения различных форм углерода и азота в почвах геохимически подчиненных ландшафтов в пределах горной катены (на примере хребта Большой Пайпудынский, координаты: 67° 13' с.ш.; 65° 28' в.д.).

Объекты исследований – почвы, сформированные на элювиально-делювиальных отложениях карбонатных пород (отделы: криометаморфических почв; литоземы; органо-аккумулятивных; глееземы).

Специфика факторов и условий почвообразования (мозаичность растительного покрова, гидротермический режим, различная мощность мелкоземисто-щебнистой толщи и др.) обуславливают разное проявление и сочетание элементарных почвообразовательных процессов: оглеение; криогенный метаморфизм минеральной массы (криогенное оструктурирование); дезинтеграция щебня/дресвы до стадии мелкозема. Отношение масс СаО и СО₂ в породе, равное 1.4, указывает на доминирование в ее составе карбоната кальция. Выщелачивание породы подтверждает увеличение содержания неорганического углерода с глубиной при колебании в 0–12.2% (0–100% общего почвенного

⁶⁶ Исследования выполнены в рамках проекта РФФИ № 20-04-00445а «Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экстремальных условий (на примере арктических экосистем)».

углерода). Минеральный азот (сумма N-NO_3^- и N-NH_4) составляет менее 1% общего азотного фонда почв. Максимальные значения свойственны органо-генным горизонтам, с глубиной отмечено закономерное его снижение. Нитратный азот обнаружен только в поверхностных и подповерхностных горизонтах почв, где его концентрация может достигать 30 мг/кг.

Выражено накопление органических форм углерода и азота в грубо-гумусовой подстилке, где варьирование их содержания (16–40 и 0.9–2.5% соответственно) связано как с различной продуктивностью растительных сообществ (запасы сырой надземной фитомассы равны 20–1600 г/м²), так и со спецификой состава опада и условиями его разложения. В нижележащих слоях показатели резко снижаются, хотя в отдельных минеральных горизонтах остаются существенными (до 8 и 0.6%), миграцию органического вещества в профилях обеспечивает промывной водный режим.

Особенности течения процессов гумификации, такие как высокое содержание карбонатов, щелочная реакция всего профиля ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 7.6–8.5), доминирование кальцефитной растительности в виде *Dryas octopetala*, специфика пигментации, консервации, разложения и биологической активности микрофлоры приводят к темному (до черного; окраска по Манселлу 10YR 4/3; 3/3) окрашиванию верхней части темного гумусовой почвы, развивающейся на вершине увала. Помимо прокраски меланином темный цвет почве придает специфическое почвенное органическое вещество, характеризующееся по Д.С. Орлову фульватно-гуматным типом ($\text{C}_{\text{ГК}}/\text{C}_{\text{ФК}} = 1.1\text{--}1.9$). На этом участке четко выражен криогенно-пятнистый характер микрорельефа. Соотношение органических и неорганических форм углерода в профиле под растительным пятном указывает, что пласт в 35-см на 180° «перевернут» криотурбационными процессами, вызванными максимальным промерзанием почвы.

Органические соединения количественно перераспределяются и закрепляются в пределах верхних горизонтов почв без выноса с водораздельных поверхностей, о чем свидетельствует химический состав водоемов исследуемой территории. Вместе с тем имеет место механический перенос органического вещества с поверхности плато в геохимически сопряженные элементы ландшафта за счет эоловых процессов; движения со склона снежных масс, увлекающих органические остатки, смыва верхних слоев почвы в период активного снеготаяния и выпадения большого количества осадков, на что указывают русла ручейков, идущие от вершины хребта к его подножью.

Литература

1. Дымов А.А., Жангуров Е.В. Морфолого-генетические особенности почв кряжа Енганэпэ (Полярный Урал) // Почвоведение. 2011. № 5. С. 515–524.
2. Lessovaia S.N., Polekhovsky Y., Dultz S., Plötze M., Andreeva N., Filimonov A., Momotova O. Soil development on basic and ultrabasic rocks in cold environments of Russia traced by mineralogical composition and pore space characteristics // Catena. 2016. T. 137. С. 596–604.

АНАЛИЗ ПРОДУКЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРЕВОСТОЕВ РАЗНОГО СОСТАВА СРЕДСТВАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ⁶⁷

**В.Н. Шанин*, **, С.С. Быховец*, П.Я. Грабарник*, П.В. Фролов*,
М.П. Шашков*, ***, Н.В. Иванова*****

**ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,
Пушкино, shaninvn@gmail.com*

***Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва*

****Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Пушкино*

В работе использовалась модель продукционного процесса, являющаяся модификацией хорошо известной модели 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth), которая позволяет рассчитать продукцию биомассы отдельного дерева в зависимости от количества полученных им ресурсов: почвенного азота и фотосинтетически активной радиации. Модель использует понятие модификаторов – функций, описывающих зависимость продуктивности от определенных факторов окружающей среды: температуры и влажности воздуха, влажности почвы, концентрации углекислого газа, а также от количества ресурсов – азота, потребляемого деревом из почвы, и перехваченной деревом фотосинтетически-активной радиации (ФАР). Для описания распределения прироста биомассы между органами дерева в модели используются ранговые распределения [1]. Оценены параметры модели для 12 наиболее распространенных видов деревьев Европейской части России [2].

В рамках данного исследования были проанализированы продукционные показатели древостоев разного видового состава и пространственной структуры. В качестве входных данных использовались количество перехваченной каждым деревом ФАР и потребленного азота почвы, рассчитанные ранее с помощью моделей корневой [3] и кроновой [4] конкуренции. Результатом моделирования являлась оценка годичной чистой первичной продукции в пересчете на 1 га. Показана более высокая (на 10–40%) продуктивность смешанных древостоев, по сравнению с монокультурами.

Литература

1. Комаров А.С., Гинжул Л.К., Шанин В.Н., Быховец С.С., Бобкова К.С., Кузнецов М.А., Манов А.В., Осипов А.Ф. Особенности распределения биомассы бореальных видов деревьев по фракциям // Известия РАН. Серия биологическая. 2017. №6. С. 76–84.

⁶⁷ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (разработка структуры модели, проект № 18-04-00527) и Российского научного фонда (параметризация модели, проведение имитационных экспериментов, проект № 18-14-00362).

2. Шанин В.Н., Грабарник П.Я., Быховец С.С., Чертов О.Г., Припутина И.В., Шашков М.П., Иванова Н.В., Стаменов М.Н., Фролов П.В., Зубкова Е.В., Ручинская Е.В. Параметризация модели продукционного процесса для доминирующих видов деревьев Европейской части РФ в задачах моделирования динамики лесных экосистем // Математическая биология и биоинформатика. 2019. Т. 14. №1. С. 54–76.
3. Shanin V., Mäkipää R., Shashkov M., Ivanova N., Shestibratov K., Moskalenko S., Rocheva L., Grabarnik P., Bobkova K., Manov A., Osipov A., Burnasheva E., Bezrukova M. New procedure for the simulation of belowground competition can improve the performance of forest simulation models // European Journal of Forest Research. 2015. V. 134. P. 1055–1074.
4. Shanin V.N., Grabarnik P.Ya., Shashkov M.P., Ivanova N.V., Bykhovets S.S., Frolov P.V., Stamenov M.N. Crown asymmetry and niche segregation as an adaptation of trees to competition for light: conclusions from simulation experiments in mixed boreal stands // Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences. 2020. V. 12. No. 1. P. 26–49.

УДК 57.033,045; 574.42,45; 630*114.351; 630*182.21

RUFOSS – ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ИНТЕГРАЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ ЛЕСНЫМИ ЭКОСИСТЕМНЫМИ УСЛУГАМИ⁶⁸

В.Н. Шанин^{*, **, *}, Н.В. Лукина^{**}, Д.Н. Тебенькова^{**},
С.И. Чумаченко^{****}, П.Я. Грабарник^{*}, О.Г. Чертов^{*****},
С.А. Кондратьев^{*****}, Л.Г. Ханина^{***}, П.В. Фролов^{*}, С.С. Быховец^{*},
М.В. Бобровский^{*}, **, В.В. Киселева^{****}, Ю.В. Карпечко^{*****}, М.В.
Шмакова^{*****}, А.А. Колычева^{**}, Е.М. Митрофанов^{****}**

^{*}ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,
Пуццино, shaninvn@gmail.com

^{**}Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

^{***}Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института
прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Пуццино

^{****}Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Московская обл.

^{*****}Бингенский технический университет, Бинген, Германия

^{*****}Институт озераведения РАН, Санкт-Петербург

^{*****}Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск

Развитие взглядов на структуру и закономерности функционирования экосистем, совершенствование вычислительной техники, технологий программирования и математического аппарата создают предпосылки для нового этапа в развитии моделирования в экологии, связанного с разработкой

⁶⁸ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61618X0101) в рамках проекта FP7 ERA-Net Sumforest-POLYFORES.

сложных комплексов моделей. В рамках решения задачи по интеграции динамической модели древостоя FORRUS-S, модели динамики органического вещества почвы Romul_Hum, статистического генератора гидротермических условий почвы SCLISS, системы моделей водного стока и выноса биогенных элементов ILHM+ILLM, а также модели биологического разнообразия BioCalc было разработано программно-техническое решение на основе специального протокола обмена данными и выработаны методические основы для интеграции моделей [1].

Разработанный модуль интеграции, RUFOSS (RUssian FOrest Simulation System) позволяет проводить комплексную оценку компромиссов и синергии между разными лесными экосистемными услугами (ЛЭУ). Объекты исследований представляли собой лесные участки в бореальной зоне (Республика Карелия) и зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов (Московская область). Анализировались прогнозные значения древесной и недревесной продукции, накопления углерода в почве, эмиссии CO₂ из почвы, биологического разнообразия, водного стока и выноса биогенных элементов. Использовались инерционные, базовые и стратегические сценарии управления лесами на региональном уровне. Сценарии изменения климата были разработаны в соответствии с Пятым оценочным докладом МГЭИК [2].

Для мультикритериальной оценки и анализа синергии и компромиссов показатели ЛЭУ были нормированы, чтобы привести их к диапазону значений от 0 до 1. Далее для каждого имитационного шага был рассчитан интегральный показатель, представляющий собой сумму всех нормированных значений с весовыми коэффициентами, соответствующими 4 политическим сценариям, разработанным в соответствии с рекомендациями проекта INTEGRAL [3]. Анализ синергии и компромиссов между ЛЭУ был основан на величине и знаке коэффициента корреляции между их нормированными значениями.

Показано, что выбор приоритетного, с точки зрения интегрального индекса, лесохозяйственного сценария, зависит от целей лесопользования. Таким образом, комплекс имитационных моделей в сочетании с системными экологическими показателями может использоваться в качестве инструмента для принятия решений по управлению лесами на местном и региональном уровнях, что позволяет поддерживать баланс между ЛЭУ.

Литература

1. Грабарник П.Я., Чертов О.Г., Чумаченко С.И., Шанин В.Н., Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Быховец С.С., Фролов П.В. Интеграция имитационных моделей для комплексной оценки экосистемных услуг лесов: методические подходы // Математическая биология и биоинформатика. 2019. Т. 14. №2. С. 488–499.
2. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, Pachauri R.K., Meyer L.A. // Geneva, Switzerland: IPCC. – 2014. – 151 p.

3. Schüll A.E., Schröter W. (2013). Guideline for the performance of participatory scenario processes in INTEGRAL. https://forestwiki.jrc.ec.europa.eu/integral/images/a/a5/MS31_Wp_3.2_Guideline.pdf

УДК: 574.32

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННЫХ И РЕЛИКТОВЫХ СООБЩЕСТВ ПОЧВЕННОЙ МИКРОФАУНЫ СЕВЕРА ЯКУТИИ⁶⁹

А.В. Шатилович*, П.Я. Грабарник*, С.В. Быкова, А.Ю. Рысс*****

**ФИЦ «Пушчинский научный центр биологических исследований РАН»,
Пушчино, nastya.shat@rambler.ru*

***Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, svbykova@rambler.ru*

****Зоологический Институт РАН, Санкт-Петербург, neta@zin.ru*

Проведено комплексное почвенно-зоологическое исследование криоземов севера Якутии, позволившее описать механизмы формирования сообществ микрофауны (инфузорий, гетеротрофных жгутиконосцев и нематод), способной к длительному криптобиозу в условиях мерзлотных почв и многолетнемерзлых отложений. На основе данных, полученных в ходе исследования, были проанализированы взаимосвязи между различными факторами почвенных местообитаний и количественными характеристиками структуры современных и реликтовых сообществ почвенной микрофауны.

Проанализировано строение 22 профилей грубогумусированных криоземов Яно-Индибирской и Колымской низменностей, расположенных на 4 пробных площадках: в подзоне арктической (устья рек Индигирка и Курышка, мыс Чукочий) и южной (р. Аллаиха) тундры. Дана сравнительная характеристика (физико-химические и микроморфологические свойства, гидротермический режим и радиоуглеродный возраст) поверхностных органогенных горизонтов почв и погребенного вследствие криотурбационных и солифлюкционных процессов органо-минерального материала поверхностных горизонтов. Сравнительная оценка диапазона разнообразия морфологических и химических свойств изучаемых горизонтов показала, что криотурбированная органика и особенно погребенные в ходе солифлюкции органогенные горизонты могут рассматриваться как специфические экологические ниши и играть роль рефугиумов для покоящихся стадий почвенной микрофауны, позволяя им длительное время сохранять жизнеспособность (Губин и др., 2016). В результате радиоуглеродного датирования органо-генного криотурбированного материала установлено, что длительность криптобиоза почвенной микрофауны в погребенной в нижних слоях криоземов органике может достигать 4–5 тыс. лет.

⁶⁹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-29-05003.

Дана оценка видового разнообразия современных и реликтовых сообществ протистов и нематод. В составе ценозов, характерных для криоземов южной и арктической тундры, обнаружено 72 вида и формы гетеротрофных жгутиконосцев, 45 видов инфузорий и 27 видов нематод. Показано, что в зависимости от путей погребения вмещающего органогенного материала, формируются разные паттерны вертикальной структуры сообществ. Установлено, что значительную часть таксоценоза микрофауны криоземов (64% от общего видового богатства гетеротрофных жгутиконосцев, 65% инфузорий и 71% нематод) составляют виды, имеющие адаптивные механизмы, позволяющие им длительное время сохранять жизнеспособность в погребенном органогенном материале, формируя своеобразный криобанк голоценовой микрофауны. Комплексы жизнеспособной микрофауны, выделенной из голоценовых и позднелейстоценовых мерзлых пород севера Якутии, составляют 13 видов инфузорий, 26 видов гетеротрофных жгутиконосцев и 2 вида нематод, относящихся к отрядам Rhabditida, Plectida. Сравнительный анализ видового состава показал, что в реликтовых сообществах микрофауны сохраняется тот же порядок доминирования, что и в современных.

На основе наиболее полных эмпирических данных, которые были собраны в ходе исследования, предложена статистическая регрессионная модель, позволяющая оценить встречаемость отдельных видов микрофауны при сочетании различных факторов почвенных местообитаний. В качестве основных параметров среды приняли содержание органического вещества (C), потери при прокаливании (LOI), кислотность (pH), порозность и глубину залегания в профиле. В модели использовали 3 сценария сочетания этих параметров, соответствующих условиям поверхностного органогенного горизонта, солифлюкционно-погребенного органогенного горизонта и минеральной матрицы. Модель логистической регрессии связывает вероятность встречаемости вида и переменные среды и имеет вид:

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n,$$

где P_i – вероятность обнаружения вида i при некоторых значениях почвенных условий; $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ – коэффициенты уравнения, которые требуется оценить на основе имеющихся данных; $x_1, x_2, \dots, x_n$ – факторы среды, значения которых наблюдались в эксперименте.

В нашем случае число факторов $n = 5$, поэтому модель приняла вид:

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 \text{LOI} + \beta_3 \text{pH} + \beta_4 \text{Porosity} + \beta_5 \text{depth}.$$

Для каждого из обнаруженных видов были оценены коэффициенты модели с помощью функции `glm` программной системы R. Верификация модели проведена с помощью сравнения наблюдаемых и предсказанных значений на основе линейного коэффициента корреляции Пирсона.

Использование предложенной модели позволит не только оценить вероятность обнаружения отдельных видов простейших или нематод при конкретном сценарии в современных мерзлотных почвах и в многолетне-мерзлых отложениях, но и получить количественные показатели формирования разнообразия почвенной микрофауны северных экосистем в условиях глобальных климатических изменений.

Литература

1. С.В.Губин, А. В. Лупачев, А. В. Шатилов, А. П. Мыльников, А. Ю. Рысс, А. А. Веремеева. Влияние криогенного массообмена на распределение жизнеспособной микрофауны в профилях криоземов // Почвоведение. 2016. № 12. С. 1485–1499.

УДК: 592

НОВАЯ СКАЗКА ПРО СПЯЩУЮ КРАСАВИЦУ: БДЕЛЛОИДНАЯ КОЛОВРАТКА ИЗ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ МЕРЗЛОТЫ

Л.А. Шмакова*, Н.С. Яковенко**, С.А. Малявин*,
Т.А. Вишнинецкая***, Е.М. Ривкина*

*ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН»,
Пуццо, malavin@pbcras.ru, shmakova@pbcras.ru

**Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences,
Praha, Czech Republic

***University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, USA

Из образца многолетнемерзлых отложений возрастом более 20 тыс. лет выделен жизнеспособный микроскопический многоклеточный организм, принадлежащий к группе бделлоидных коловраток. По морфологическим признакам организм был предварительно отнесен к роду *Adineta*. Филогения гена первой субъединицы цитохромоксидазы с показала, что коловратка наиболее близка к современному изоляту *Adineta vaga* Hprim14 (GenBank: KU860644.1), но представляет собой новый вид, который будет описан в ходе дальнейшей работы.

Образец, из которого выделена коловратка, был отобран из керна скважины, пробуренной в июле 2015 г. на правом берегу реки Аллазея, Нижне-колымский улус, респ. Саха (Якутия). Бурение производилось с использованием стандартной разработанной в лаборатории криологии почв методики, исключающей контаминацию отбираемых проб современными микроорганизмами. Скважина на глубине 3.5 м вскрыла отложения позднеплейстоценового ледового комплекса. Физико-химические параметры отложений и отсутствие на данной глубине метана свидетельствуют о формировании осадка в условиях значительного увлажнения и избытка кислорода. Выде-

ление микроорганизмов из образцов проводилось методом накопительного культивирования с соблюдением необходимых условий стерильности. Проба для радиоуглеродного датирования отобрана из того же фрагмента керна, из которого впоследствии была выделена коловратка. Возраст осадков, из которых была выделена культура, составил около 24 тысяч лет.

Бделлоидные коловратки — обычные обитатели почв и пресноводных водоемов, но очень редко сохраняются в ископаемом состоянии. Самой древней находкой считается обнаружение 22 особей в третичном доминиканском янтаре, датированном 35–40 миллионами лет. Определение 18 из этих особей было невозможно даже на уровне семейства [2]. Единственной ископаемой бделлоидной коловраткой, определенной до уровня вида, является *Habrotrocha angusticollis*, обнаруженная в вышеупомянутом янтаре, а также североамериканском голоценовом торфянике. Таким образом, обнаруженная в образце многолетнемерзлых отложений возрастом 24 тысячи лет коловратка является одной из двух ископаемых бделлоидных коловраток, определенной до уровня вида.

Замечательна устойчивость бделлоидных коловраток к высушиванию и замораживанию. Описаны случаи выживания этих организмов после хранения в отрицательных температурах в течение 6–10 лет [1, 3]. Другие микроскопические животные, тихоходки, также известные своей устойчивостью к неблагоприятным факторам, выживали после заморозки в течение 30 с половиной лет [5]. Самый долгий период пребывания в замороженном состоянии (38 лет) и благополучный выход из него в лаборатории отмечен для нематоды *Tylenchus polyhyphus* [4]. Таким образом, полученная нами датировка отражает результат природного эксперимента, на три порядка увеличивающего время, которое многоклеточный организм, обладающий сложно устроенными внутренними органами, способен провести в замороженном состоянии и выжить. Доступность линии делает возможными дальнейшие исследования молекулярных и физиологических адаптаций к криптобиозу в условиях отрицательных температур.

Литература

1. Newsham K. K., Maslen N. R., McInnes S. J. Survival of antarctic soil metazoans at –80 C for six years // *CryoLetters*. 2006. V. 5 (27). P. 291–294.
2. Poinar G. O., Ricci C. Bdelloid rotifers in Dominican amber: evidence for parthenogenetic continuity // *Experientia*. 1992. V. 4 (48). P. 408–410.
3. Shain D. H. et al. Colonization of maritime glacier ice by bdelloid Rotifera // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2016. V. 98. P. 280–287.
4. Steiner G., Albin F. E. Resuscitation of the nematode *Tylenchus polyhyphus*, n. sp., after almost 39 years' dormancy // *Journal of the washington academy of sciences*. 1946. V. 3 (36). P. 97–99.
5. Tsujimoto M., Imura S., Kanda H. Recovery and reproduction of an Antarctic tardigrade retrieved from a moss sample frozen for over 30 years // *Cryobiology*. 2016. V. 1 (72). P. 78–81.

ОРГАНОГЕННЫЕ ПЕДОСЕДИМЕНТЫ ОСТРОВОВ КАРСКОГО МОРЯ – СВИДЕТЕЛЬСТВА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВОЕ И ГОЛОЦЕНОВОЕ ВРЕМЯ⁷⁰

А.А. Юртаев*, А.Л. Александровский**

**Тюменский государственный университет, Тюмень, yurtaevgeo@yandex.ru*

***Институт географии РАН, Москва, alexandrovskiy@mail.ru*

В Западной Сибири плейстоценовые палеопочвы изучаются не одно десятилетие, но такие исследования известны прежде всего на юге региона – в лессовой области (Зыкина, 1979; 1986; 1996; Зыкина В.С., Зыкин В.С., 2004; 2012). На севере Западной Сибири – севернее широтного течения Средней Оби – палеопочвенные исследования проведены относительно недавно (Шейнкман, Плюснин, 2015; Sedov et al., 2016; Sheinkman et al. 2017, Sheinkman et al. 2019, Rusakov et al. 2019).

Также на арктическом побережье и островах Карского моря, известны находки погребенных позднеплейстоценовых торфов (Макеев и др., 1979; Авдалович, Биджиев, 1984; Данилов, 1985; Тарасов и др., 1995; Васильчук, 2012; Гусев и др., 2013).

Наши исследования были проведены на острове Белый и острове Вилькицкого – это участки шельфа, которые невысоко приподняты над уровнем моря (4–12 м). В течение позднего плейстоцена эти территории многократно подвергались трансгрессиям и регрессиям, и в итоге сформировалось характерное строение поверхностных отложений. В основе залегает глинистый цоколь каргинской террасы (МИС3), который перекрывается преимущественно песчаными отложениями мощностью 2–5 м. Верхняя пачка отложений с возрастом МИС2-МИС1 формировалась при активном участии моря и эоловых процессов, и поэтому содержит погребенные горизонты торфяных почв былых поверхностей.

Педолитоседименты на территории островов распространены повсеместно, по сути, вся их поверхность представляет собой педогенный палеоархив. На основе анализа более чем 50 14С дат показано, что формирование почв происходило в последние 40 тыс. лет, и наиболее интенсивно в последние 13 тыс. лет. Погребение торфа было связано с эоловыми процессами, а также с эрозией на берегах озер, где активно развивалась волновая и термоабразия. В среднем голоцене к ним добавились эрозионные процессы на берегу моря, а во время морских трансгрессий – процессы переотложения почв.

В ходе исследований было зафиксировано 5 типов педолитоседиментов.

⁷⁰ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ямало-Ненецкого автономного округа в рамках научного проекта № 19-45-890017.

1-й тип – переотложенные песчаные отложения с органогенными включениями и горизонтами (погребенный торф). Они являются наиболее распространенными и встречаются на разных геоморфологических уровнях (от 2 до 10 м над уровнем моря), как на о. Белый, так и на о. Вилькицкого. Возраст погребенных торфов в этих отложениях варьирует в широких временных пределах – от 13 до 1.5 тыс. лет. Вместе с тем, преобладают датировки времени аллереда и раннего голоцена.

2-й тип – инситные погребенные торфяные почвы и педоседименты раннеголоценового возраста. Как правило инситный торф перекрыт криотурбированными суглинками или песками мощностью около 20–50 см, в верхней части которых сформирована современная эолово-аккумулятивная торфяно-песчаная стратифицированная почва позднеголоценового времени (не более 1.5–2 тыс. л.). Такие почвы были обнаружены только на острове Белый.

3-й тип – инситные эродированные торфяные почвы. Были обнаружены только на о. Белый. Их мощность составляет не более 50 см, причем нижние горизонты имеют очень большой возраст – 10–12 тыс. л. Примечательно, что верхние горизонты таких почв (0–10 см) имеют также аномальные значения возраста – 5–6 тыс. л., то есть время среднего голоцена. Таким образом, верхние части этих почв – позднеголоценового возраста – вероятнее всего были потеряны в результате эрозионных процессов.

4-й тип – современные эолово-аккумулятивные торфяно-песчаные стратифицированные почвы (после 1500 Cal. Age, BP). Такие педолитоседименты формируются в береговых зонах в результате надувания тонкой песчаной фракции с пляжных фаций. Возраст их формирования позднеголоценовый от 1.5 тыс. лет. Такие почвы были обнаружены как на о. Белый, так и на о. Вилькицкого.

5-й тип – лагунные суглинки каргинского времени. Эти отложения залегают на современном уровне моря и сверху перекрыты песчаными рыхлыми отложениями. То есть, это современный цоколь островов Белый и Вилькицкого. Возраст отложений более 30 тыс. лет, и не достигает 40 тыс. лет, то есть относится к терминальной стадии МИСЗ.

"ПОЗДНИЕ" МАТЕРИАЛЫ

УДК: 631.41

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЧАРА В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА В ЗАГРЯЗНЕННОЙ Cd ПОЧВЕ⁷¹

**А.В. Барахов, В.А. Чаплыгин, М.С. Бурачевская, С.С. Манджиева,
Т.М. Минкина, А.А. Фролова, Н.П. Черникова**

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, tolik.barakhov@mail.ru

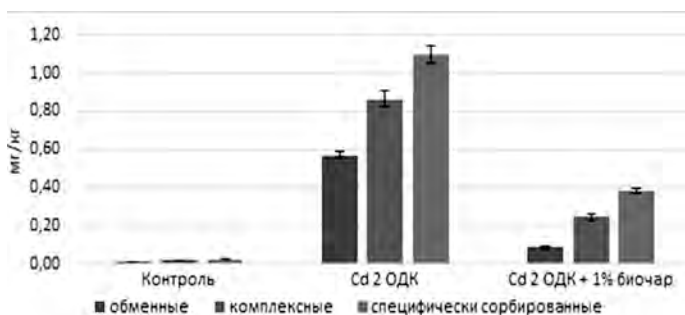
Загрязнение почв – одна из важных экологических проблем. Тяжелые металлы (ТМ), распространяемые с промышленными выбросами, могут оседать на ближайших сельскохозяйственных угодьях [2]. Среди токсичных ТМ Cd выделяется тем, что он накапливается в растениях в повышенных концентрациях из-за высокой биодоступности. Поступая в избытке, Cd, не относящийся к жизненно необходимым элементам, становится токсичным и представляет серьезную опасность для живых организмов [4]. Актуальность очистки почв от поллютантов растет год от года. Все более значительным становится вопрос использования для детоксикации загрязненных почв экологически чистых природных соединений. Биочар представляет собой мелкозернистый высокопористый материал с большой площадью поверхности. Высокая удельная поверхность и емкость катионного обмена биочара делает возможным повышенную сорбцию на поверхности вещества [1].

Целью работы является изучение подвижности соединений Cd в черноземе обыкновенном в условиях загрязнения и ее изменение при применении биочара.

Для достижения поставленной цели был заложен модельный опыт с искусственным загрязнением чернозема обыкновенного уксуснокислым Cd – 2 ОДК металла, что соответствует 4 мг/кг. Схема опыта включала: 1) контроль; 2) Cd 2 ОДК; 3) Cd 2 ОДК + 1% биочар. ОДК Cd в почве 2,0 мг/кг [1]. Валовое содержание Cd в почве определяли рентген-флюоресцентным методом. Для оценки подвижности металлов в почве применяли метод параллельных вытяжек, характеризующий содержание непрочно связанных соединений ТМ в почве [3]. Содержание Cd в почвенных вытяжках определяли методом ААС.

В контрольном образце почвы было установлено валовое содержание Cd, сопоставимое с фоновым уровнем для черноземов обыкновенных [3].

⁷¹ Работа выполнена в рамках гранта Президента МК-2818.2019.5, РФФИ 19-34-90185.



Распределение непрочно связанных соединений Cd, мг/кг

Количество непрочно связанных соединений Cd составило 20% от валового содержания, среди которых доля специфически сорбированных составила 9%, комплексных – 7%, обменных – 4%.

При повышении антропогенной нагрузки до 2 ОДК заметно возрастает доля непрочно связанных соединений Cd (до 59%) в сравнении с контролем. Применение биочара в дозе 1% при загрязнении 2 ОДК Cd по сравнению с вариантом внесения металла снижает непрочно связанные соединения 3 раза (до 18%) за счет снижения обменных (с 13% до 2%), комплексных (с 20% до 6%) и специфически сорбированных (26% до 10%) форм (рисунок). Во всех вариантах опыта распределение форм Cd от непрочно связанных соединений имеет следующую последовательность по убываю: специфически сорбированные > комплексные > обменные.

Таким образом, внесение биочара в дозе 1% в почву снизило подвижность металлов практически в три раза, что говорит об эффективности применяемого сорбента.

Литература

1. Зерщикова М. А. Последствия загрязнения окружающей среды и их влияние на экономические показатели (методы сохранения и улучшения состояния окружающей среды) // Инженерный вестник Дона. 2011. Т. 15. №. 1. С.65-77.
2. Кизилев О.А., Байкин Ю.Л., Овчинников П.Ю. Применение минеральных сорбентов при загрязнении почв тяжелыми металлами // Вестник биотехнологии. 2017. №. 1(11). С. 16.
3. Минкина Т.М., Мотузова Г.В, Назаренко О.Г., Крыщенко В.С., Манджиева С.С. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны // Почвоведение. 2008. № 7. С. 810-818.
4. Ульяненко Л.Н., Филипас А.С., Круглов С.В., Лой Н.Н., Степанчикова Н.С. Токсичность кадмия в болотно-торфяной низинной почве для растений ячменя // Агрохимия. 2012. №. 7. С. 68-73. ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве: Гигиенические стандарты. – Введ. 01.07.2009. М.: Роспотребнадзор, 2006. 15 с.

ОЦЕНКА ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОГО СОСТАВА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВЫСОКОБУФЕРНЫХ ПОЧВАХ⁷²

**С.С. Манджиева, Т.М. Минкина, Д.В. Брень, Т.В. Бауэр,
М.В. Бурачевская, И.Г. Дерябкина, А.Ю. Яковленко**

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, msaglara@mail.ru

Оценка экологических рисков и прогноз экологического состояния загрязненных почв невозможны без информации о том, в состав каких соединений почвы вошли поглощенные ею поллютанты (Heskey, 2004; Li et al., 2007). Анализ результатов фракционно-группового состава с использованием комбинированного приема предназначен для выявления изменений в качественном и количественном составе групп прочно и непрочно связанных соединений под влиянием различных факторов и установления их взаимосвязи. На основе данных изменений устанавливаются общие и специфические особенности формирования и изменения группового состава соединений металлов в незагрязненных и загрязненных почвах.

В настоящее время существенное воздействие на окружающую среду оказывают предприятия энергетической отрасли. Примером длительного аэротехногенного воздействия на экосистему являются выбросы одной из крупнейших тепловых электростанций на юге России филиал ПАО «ОГК-2» «Новочеркасская» ГРЭС (НчГРЭС), расположенной в Ростовской области. На расстоянии 1,2 км и 20 км в северо-западном направлении от ГРЭС были заложены площадки мониторинга.

Почвы площадок мониторинга представлены черноземом обыкновенным карбонатным среднесиловым малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидных суглинках. Большое количество тепла и осадков способствовали образованию плодородных черноземов, а обогащение карбонатами за счет лессовидных почвообразующих пород – формированию высокой буферной способности.

Сумма фракций Zn и Pb в незагрязненной почве (таблица) соответствует фоновому уровню для черноземов обыкновенных (Самохин, 2003; Шишкина и др., 2003). Содержание наиболее подвижных обменных форм элементов очень низкое, меньше 1 мг/кг. Растения в таких условиях могут испытывать недостаточную обеспеченность такого микроэлемента, как Zn. В исходных почвах подвижность Zn и Pb низкая: содержание непрочно свя-

⁷² Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 20-14-00317.

Распределение Zn и Pb по формам и группам соединений в исследуемых почвах импактной зоны Новочеркасской ГРЭС, мг/кг

Площадка мониторинга, вариант опыта	Непрочно связанные соединения				Прочно связанные соединения с			Сумма фракций
	Обменные	Комплексные	Специфически сорбированные		Органическим веществом	Оксидами Fe	Силикатами	
			на карбонатах	на оксидах Fe и Mn				
Zn								
№ 10, 20 км на СЗ от НЧГРЭС	0,5±0,1	0,8±0,1	4,0±0,2	2,1±0,3	4,1±0,6	18,4±0,4	51,9±4,3	81,8±5,3
№ 5, 1,2 км на СЗ от НЧГРЭС	10,8±0,7	3,1±0,1	17,3±0,6	13,9±1,8	6,8±0,3	19,1±1,5	70,3±6,5	141,3±8,2
Pb								
№ 10, 20 км на СЗ от НЧГРЭС	0,3±0,1	0,6±0,2	1,5±0,2	1,1±0,3	4,8±0,9	2,8±0,4	10,3±1,6	21,4±3,9
№ 5, 1,2 км на СЗ от НЧГРЭС	2,8±0,3	6,5±0,3	9,3±1,1	5,6±0,8	9,6±1,4	6,5±0,5	24,8±3,7	65,1±5,4

занных соединений (НС) не превышает 16 % от суммы фракций. Низкое содержание непрочно связанных соединений ТМ в исследуемой незагрязненной почве обусловлено тяжелым гранулометрическим составом почвы, высоким содержанием органического вещества и соединений Fe, наличием карбонатов, слабощелочной реакцией среды.

Загрязнение чернозема обыкновенного Ростовской области привело к нарушению естественного соотношения в них соединений металлов. В природных почвах имеет место доминирование прочно связанных соединений. Загрязнение черноземов металлами не отменяет доминирование соединений, прочно удерживаемых почвенными компонентами, однако участие их в формировании возросшего общего содержания металлов снижается за счет активного вовлечения металлов в состав непрочно связанных соединений. Чем выше нагрузка, тем активнее идет этот процесс. Относительное содержание непрочно связанных соединений металлов в сильно загрязненных почвах повышается до 52% от валового содержания.

Процессы мобилизации и иммобилизации Zn в загрязненных почвах в основном связаны с образованием различных по прочности связи соединений с гидр/оксидами Fe и Mn. Наиболее активную роль в увеличении подвижности металлов играют процессы ионного обмена. В случае Pb активную роль в его прочном и непрочно удерживании играет органическое вещество наряду с (гидр)оксидами Fe-Mn.

Литература

1. International Agency for Research on Cancer. Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1-124. Lyon, France: 2019 <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-theiarc/>.
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
3. ISO 13877-2005, 2005. Soil quality-determination of polynuclear aromatic hydrocarbons – Method using high -performance liquid chromatography.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абакумов Е.В., 5
Абрамов А.А., 187
Акосах Й.А., 119
Александровский А.Л., 6, 201, 218
Алексеев А.О., 8, 83
Алексеева Т.В., 8, 10
Андерсон Дж., 187
Анохина Т.О., 80
Антоненко Е.М., 15, 49, 169
Ахметов Л.И., 12, 122, 181
- Бабынин Э.В., 119
Бадеева Е.К., 119
Бакашкин С.В., 42
Барбашев А.И., 15, 49, 169
Бауэр Т.В., 17
Башкин В.Н., 19, 35
Безуглова О.С., 171
Белеванцев В.Г., 201
Бобровский М.В., 21, 183, 212
Богданова А.М., 22
Бочарникова Е.А., 24
Бутанаев Ю.В., 149
Бухонов А.В., 26
Быкова С.В., 214
Быховец С.С., 27, 72, 137, 211, 212
- Ваганов Е.А., 117
Васильева Г.К., 29, 53, 70, 108, 122
Веремеева А.А., 31, 179
Ветрова А.А., 181
Виноградова Ю.А., 106
Вишневская Т.А., 216
Волошина А.Д., 119
Воробьев Н.И., 33
Воронин А.Я., 147
Воронина Л.П., 47
- Галиулин Р.В., 35
Геннадиев А.Н., 198
Глинушкин А.П., 157
Голубцов В.А., 194
Голубятников Л.Л., 37
Горбов С.Н., 171
Горячкин С.В., 39
- Грабарник П.Я., 211, 212, 214
Грабовский В.И., 205
Губин С.В., 40, 189
- Давыдов С.П., 179
Давыдова А.И., 179
Данилов П.П., 112
Демидов Н.Э., 187
Демин В.В., 59, 60
Денева Е.В., 96
Денева С.В., 42
Дергачева М.И., 45
Джукич Д.А., 157
Донерьян Л.Г., 47
Дороватский П.В., 120
Дубовик Е.В., 85
Дудникова Т.С., 15, 49, 169
- Евдокимов И.В., 51
Евстафьева Е.В., 52, 53
Евтюгина З.А., 55
Ельцов М.В., 100
Еремин И.И., 179
Ермолин М.С., 59
Есикова Т.З., 80
- Жангуров Е.В., 209
Жмурин В.А., 57, 192
- Завалишин Н.Н., 62
Заварзина А.Г., 59
Завгородняя Ю.А., 60
Заздравных Е.А., 198
Замолотчиков Д.Г., 65, 205
Занина О.Г., 67
Заров Е.А., 37
Зарубина О.В., 133
Зимов Н.С., 69
Зимов С.А., 69
Зиннатшина Л.В., 70
Зубкова Е.В., 72
- Иванов И.В., 74, 201
Иванова Н.В., 211
Ивахненко Н.Н., 145

Иващенко К.В., 183
Ильичёв И.А., 78
Иминова Л.Р., 80

Каганов В.В., 65, 82, 110
Калинин П.И., 8, 53, 83, 98, 112
Караванова Е.И., 173
Карпечко Ю.В., 212
Каширская Н.Н., 85
Киселева В.В., 212
Кноль А., 129
Ковалева В.А., 106
Колесников Р.А., 88
Колычева А.А., 212
Кондратьев С.А., 212
Контобойцева А.А., 78, 94
Коршунова Т.Ю., 12
Костин А.С., 91
Кошурникова Н.Н., 117
Краев Г.Н., 179
Красильников П.В., 78, 94
Кречетов П.П., 91
Кропачев Д.Ю., 179
Ксенофонтова М.И., 112
Кубик О.С., 96, 209
Кудреватых И.Ю., 53, 83, 98
Кузнецов А.Н., 82, 110
Кузнецова Т.В., 100
Кулюгина Е.Е., 209
Куприянов Д.А., 21
Курганова И.Н., 57, 102, 110, 127, 167, 173, 192
Курочкина Г.Н., 104

Лаптева Е.М., 106
Лапушкин М.Ю., 108
Ларионова А.А., 51
Лисов А.В., 59
Литвинов Ю.А., 196
Личко В.И., 173
Логинов О.Н., 12
Лопатина Д.А., 67
Лопес де Гереню В.О., 82, 102, 110, 127, 173, 192
Лоскутов С.И., 106
Лукин С.В., 198
Лукина Н.В., 212

Лупачев А.В., 112, 179
Лутовац М., 157
Лягузина Е.А., 85

Малышев В.В., 83
Мальцева А.Н., 114
Малявин С.А., 116, 216
Мангура П.А., 125
Манджиева С.С., 196
Маслаков А.А., 65
Махныкина А.В., 117
Миндубаев А.З., 119
Минзанова С.Т., 119
Минкина Т.М., 15, 17, 49, 120, 169, 196, 203
Миронова Л.Г., 119
Митенко Г.В., 53, 139
Митрофанов Е.М., 212
Михедова Е.Е., 122
Мойано Ф., 129
Морозова А.А., 124
Мухартова Ю.В., 125
Мухин В.М., 163
Мякшина Т.Н., 57, 102

Надпорожская М.А., 72
Нгуен В.Т., 82, 110
Невидомская Д.Г., 120
Новикова Е.В., 129

Овсеппян Л.А., 127
Ольчев А.В., 125, 129
Онопrienко В.И., 131
Остроумов В.Е., 179

Пампура Т.В., 133
Паштецкий В.С., 185
Перминова Е.М., 106
Пильгуй Л.С., 98
Пинский Д.Л., 17, 114, 120, 135
Пищик В.Н., 33
Плеханова Л.Н., 88
Поливцева В.Н., 80
Потапова А.В., 85
Припутина И.В., 137
Присяжная А.А., 139
Прокушкин А.С., 117
Прудникова Е.Ю., 147

Пунтус И.Ф., 12, 181
Пухальский Я.В., 33, 106

Решоткин О.В., 141
Ривкина Е.М., 31, 143, 187, 216
Роговнева Л.В., 185
Романенков В.А., 78, 94
Романова Т.А., 145
Рысс А.Ю., 214

Савин И.Ю., 147
Самбуу А.Д., 149
Самофалова И.А., 152
Сапронов Д.В., 154
Сверчкова А.Э., 155
Свиридова О.В., 33
Семенов А.М., 33, 157
Семенов В.М., 159
Семенов М.В., 161
Скрипников П.Н., 171
Смирнов В.Э., 183
Снакин В.В., 139
Соколов А.В., 129
Соляникова И.П., 80
Сорокин А.С., 94
Сороковиков В.А., 179
Спиридонов Ю.Я., 163
Стрижакова Е.Р., 29, 70, 122
Суховерева О.Э., 165, 167
Сушкова С.Н., 15, 49, 169, 203

Тагивердиев С.С., 171
Тарасов Д.Л., 125
Тебенькова Д.Н., 212
Телеснина В.М., 173
Трибис Л.И., 175
Тулина А.С., 177
Тупахина О.С., 88

Удальцов С.Н., 100

Узорова М.И., 122

Федоренко А.Г., 203
Федоров-Давыдов Д.Г., 179
Филонов А.Е., 12, 181
Фролов П.В., 72, 137, 211, 212
Фролова Г.Г. 72

Ханина Л.Г., 183, 212
Хитров Н.Б., 185
Ходжаева А.К., 187, 189
Холодов А.Л., 179
Хорошаев Д.А., 192
Хохлова О.С., 155, 194
Худяков О.И., 141

Цыганов А.Н., 133

Чаплыгин В.А., 196
Чендев Ю.Г., 198, 201
Черникова Н.П., 203
Черницова О.В., 91
Чернов Т.И., 106
Чернова О.В., 139
Чертов О.Г., 137, 212
Честных О.В., 205
Чумаченко С.И., 212

Шабасев В.П., 207
Шамрикова Е.В., 42, 96, 209
Шанин В.Н., 211, 212
Шатилов А.В., 214
Шашков М.П., 211
Шмакова Л.А., 116, 216
Шмакова М.В., 212
Шуваева В.А., 120

Юртаев А.А., 218

Яковенко Н.С., 216

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Стабилизация органического вещества почв криолитозоны: механизмы, процессы, тренды Е.В. Абакумов.....	5
Второй гумусовый горизонт в почвах Русской и Западно-Сибирской равнин: история изучения, география и генезис А.Л. Александровский.....	6
Почвообразование – взгляд из прошлого в будущее А.О. Алексеев, Т.В. Алексеева, П.И. Калинин	8
Почвообразование в девоне и карбоне (на примере центральных районов Русской плиты) Т.В. Алексеева	10
Нефть как загрязнитель почвы: современное состояние проблемы Л.И. Ахметов, Т.Ю. Коршунова, А.Е. Филонов, И.Ф. Пунтус, О.Н. Логинов	12
Влияние минеральных сорбентов на фитотоксичность полициклических ароматических углеводородов по отношению к ячменю яровому (<i>Hordeum vulgare</i>) А.И. Барбашев, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Т.С. Дудникова, Е.М. Антоненко.....	15
Поглощение цинка гидроморфными почвами при раздельном и совместном внесении его с медью Т.В. Бауэр, Минкина Т.М., Пинский Д.Л.	17
Инженерная биогеохимия: от фундаментальных почвенно-биогеохимических идей В.А. Ковды до инновационных технологий В.Н. Башкин	19
Ключевые этапы антропогенных воздействий на почвы Центра Европейской России в позднем голоцене М.В. Бобровский, Д.А. Куприянов	21
Содержание некоторых поллютантов в урбопочвах импактной зоны Симферопольской ТЭС А.М. Богданова, Евстафьева Е.В	22
Биогеохимический цикл кремния в наземных экосистемах Е.А. Бочарникова.....	24
Экологическая обстановка на территории Нижнего Поволжья в голоцене на основе палеопочвенных исследований разновозрастных археологических памятников А.В. Бухонов	26
Об оценке климатических норм температуры почвы по стандартным климатологическим данным С.С. Быховец.....	27
Сорбционная биоремедиация почв, загрязненных органическими поллютантами разных классов Г.К. Васильева, Е.Р. Стрижакова.....	29
Едомно-аласные ландшафты в меняющемся климате А.А. Веремеева, Е.М. Ривкина.....	31
Фрактальный анализ динамики биосистемных микробных образований в почвах с различной агротехнологией возделывания Н.И. Воробьев, А.М. Семенов, Я.В. Пухальский, О.В. Свиридова, В.Н. Пищик.....	33
Рекультивация почв, загрязненных углеводородами Р.В. Галиулин, В.Н. Башкин	35
Содержание углерода и азота в болотных почвах южной тундры Западной Сибири Л.Л. Голубятников, Е.А. Заров.....	37
Почвообразование в неблагоприятных условиях и развитие методологической базы – вместе к экстремальному почвоведению С.В. Горячкин	39

Условия формирования и разнообразие таллоселей береговой зоны морей восточного сектора Российской Арктики С.В. Губин	40
Сравнительный анализ методов определения элементного состава маршевых почв (побережье Баренцева моря) С.В. Денева, Е.В. Шамрикова, С.В. Бакашкин	42
Система гумусовых веществ криогенных почв: современное состояние исследований, проблемы и перспективы М.И. Дергачева	45
Трансформация городских почв под воздействием противогололедных материалов. Гигиенический взгляд на проблему Л.Г. Донерьян, Л.П. Воронина	47
Сравнение содержания полициклических ароматических углеводородов в почвах техногенно-измененных ландшафтов Т.С. Дудникова, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Е.М. Антоненко, А.И. Барбашев	49
Круговорот биофильных элементов в почве и ризосфере И.В. Евдокимов, А.А. Ларионова	51
Причины неблагоприятной экологической ситуации на севере Крымского полуострова и ее воздействие на здоровье местного населения Е.В. Евстафьева, Г.К. Васильева, И.Ю. Кудреватых, П.И. Калинин, Г.В. Митенко	53
О возможных механизмах мобилизации серы в подзолах Кольского региона З.А. Евтюгина	55
Межгодовая вариабельность температурной чувствительности эмиссии CO ₂ из дерново-подзолистой почвы Приокско-террасного заповедника: анализ данных 20-летнего мониторинга В.А. Жмурин, Т.Н. Мякшина, И.Н. Курганова	57
Роль минеральной фазы и окислительных ферментов в секвестрации ароматического углерода в почвах А.Г. Заварзина, В.В. Демин, А.В. Лисов, М.С. Ермолин	59
Фракционный состав углеводов в почвах Ю.А. Завгородняя, В.В. Демин	60
Моделирование эмиссии углеродсодержащих газов из торфяных почв болот южной тайги Западной Сибири при изменениях климата Н.Н. Завалишин	62
Современное увеличение глубины и массы активного слоя почвы в циркумполярной Арктике Д.Г. Замолотчиков, А.А. Маслаков, В.В. Каганов	65
Изучение криогенной трансформации биогенных новообразований в экосистемах северо-востока России О.Г. Занина, Д.А. Лопатина	67
Моделирование накопления органического углерода в ходе криосинлитогенного почвообразования на примере формирования отложений едомной свиты (северо-восток Сибири) Н.С. Зимов, С.А. Зимов	69
Изменение свойств нефтезагрязненной почвы в процессе сорбционной биоремедиации Л.В. Зиннатшина, Г.К. Васильева, Е.Р. Стрижакова	70
Качество лесных подстилок и почв в кустарничковых синузиях сосновых лесов Приокско-террасного биосферного заповедника и его окрестностей Е.В. Зубкова, М.А. Надпорожская, П.В. Фролов, С.С. Быховец, Г.Г. Фролова	72
Исследования эволюции почв России сотрудниками ИАП АН СССР – ИФХиБПП РАН за 50 лет (1970–2020) И.В. Иванов	74

Динамика органического углерода в длительном опыте на чернозёме в зернопаропропашном севообороте и её моделирование И.А. Ильичёв, В.А. Романенков, А.А. Контобойцева, П.В. Красильников	78
Сравнение деградативной активности бактерий, выделенных из незагрязнённых и загрязнённых поллютантами почв Л.Р. Иминова, Т.З. Еськова, Т.О. Анохина, В.Н. Поливцева, И.П. Соляникова	80
Факторы, регулирующие распределение углерода и дыхательную активность почв в лесных экосистемах Южного Вьетнама В.В. Каганов, О.В. Лопес де Гереню, А.Н. Кузнецов, Нгуен Ван Тхинь	82
Геохимические особенности выветривания каштановых и бурых полупустынных почв Русской равнины П.И. Калинин, И.Ю. Кудреватых, В.В. Малышев, А.О. Алексеев	83
Влияние пастбищной нагрузки на биологическую активность пустынно-степных почв различного гранулометрического состава Н.Н. Каширская, А.В. Потапова, Е.В. Дубовик, Е.А. Лягузина	85
Почвенно-археологическое изучение культурных слоев эпохи бронзы Западно-сибирского Приполярья Р.А. Колесников, О.С. Тупахина, Л.Н. Плеханова	88
Состав жидкой и твердой фаз черноземов северной лесостепи в зоне влияния отвалов Подмосковского буроугольного бассейна А.С. Костин, П.П. Кречетов, О.В. Черницова	91
Почва в глобальной продовольственной системе П.В. Красильников, В.А. Романенков, А.А. Контобойцева, А.С. Сорокин	94
Формы азота в прибрежных почвах Баренцева моря О.С. Кубик, Е.В. Шамрикова, Е.В. Денева	96
Влияние геохимических свойств почв на аккумуляцию химических элементов растительностью в степной зоне юга России И.Ю. Кудреватых, П.И. Калинин, Л.С. Пильгуй	98
Активный пул органического азота почв сухих степей Нижнего Поволжья Т.В. Кузнецова, С.Н. Удалцов, М.В. Ельцов	100
Многолетняя динамика дыхания почв в лесном и луговом ценозах Приокско-террасного биосферного заповедника и современные климатические изменения И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню, Т.Н. Мякшина	102
Коагуляционно-конденсационное структурообразование почв и почвенных минеральных компонентов в присутствии полиэлектrolитов Г.Н. Курочкина	104
Функциональное и генетическое разнообразие микробных сообществ в почвах бугристых торфяников европейского северо-востока России Е.М. Лаптева, Ю.А. Виноградова, Е.М. Перминова, В.А. Ковалева, Т.И. Чернов, Я.В. Пухальский, С.И. Лоскутов	106
Трансформация и миграция полихлорированных бифенилов на загрязненном участке в г. Серпухове М.Ю. Лапушкин, Г.К. Васильева	108
Дыхание почв в тропических лесах южного вьетнама: влияние высотного градиента и режима использования В.О. Лопес де Гереню, В.В. Каганов, И.Н. Курганова, А.И. Кузнецов	110
Полихимическое загрязнение криогенных почв Центральной и Северной Якутии А.В. Лупачев, П.П. Данилов, М.И. Ксенофонтова, П.И. Калинин	112

Роль минеральной среды в трансформации органического вещества почвы А.Н. Мальцева, Д.Л. Пинский	114
Живые ископаемые: амёбодные микроорганизмы из вечной мерзлоты как модельный объект С.А. Малявин, Л.А. Шмакова	116
Эмиссионные потоки CO ₂ из почв в среднетаежных лесах Центральной Сибири: основные модифицирующие факторы А.В. Махныкина, А.С. Прокушкин, Н.Н. Кошурникова, Е.А. Ваганов	117
Влияние белого фосфора на черный аспергилл Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Волошина А.Д., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Акосах Й.А	119
Использование рентгеновской дифракции на синхротронном излучении для диагностики почвенного минералообразования при химическом загрязнении Т.М. Минкина, Д.Г. Невидомская, В.А. Шуваева, П.В. Дороватский, Д.Л. Пинский	120
Оценка эффективности применения натуральных сорбентов для ускорения биоремедиации нефтезагрязненных почв северных регионов России Е.Е. Михедова, М.И. Узорина, Е.Р. Стрижакова, Л.И. Ахметов, Г.К. Васильева	122
Сравнительная оценка микрорезлементного состава почв засоленных ландшафтов восточной части Барабинской равнины А.А. Морозова	124
Трехмерная модель переноса диоксида углерода на границе «почва–атмосфера» в болотной экосистеме Ю.В. Мухартова, А.В. Ольчев, Д.Л. Тарасов, П.А. Мангура	125
Постагрогенные изменения фракционного состава органического вещества почв в зоне лесостепи Л.А. Овсепян, И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню	127
Модельный подход для описания эмиссии CO ₂ с поверхности почвы в лесных экосистемах А.В. Ольчев, Е.В. Новикова, А.В. Соколов, Ф. Мойано, А. Кноль	129
Путь к эффектам плодородия В.И. Оноприенко	131
Голоценовая климатическая динамика и атмосферные пылевые потоки в Европейской части России: реконструкция на основе верхового торфяника Т.В. Пампура, А.Н. Цыганов, О.В. Зарубина	133
Эволюция учения о поглотительной способности почв: от работ К.К. Гедройца до наших дней Д.Л. Пинский	135
Моделирование динамики органического вещества лесных почв с использованием модели ROMUL_HUM И.В. Припутина, С.С. Быховец, П.В. Фролов, О.Г. Чертов	137
Территориальная охрана почвенного разнообразия в Российской Арктике А.А. Присяжная, В.В. Снакин, О.В. Чернова, Г.В. Митенко	139
Динамика температуры каштановых почв в связи с изменением климата О.В. Решоткин, О.И. Худяков	141
Метагеномные исследования как новый инструмент для понимания биогеохимических процессов в многолетнемерзлых отложениях Е.М. Ривкина	143
Об объёме понятия «почва» Т.А. Романова, Н.Н. Ивахненко	145
Бесконтактные технологии мониторинга почв И.Ю. Савин, Е.Ю. Прудникова, А.А. Воронин	147

Физико-химические свойства каштановых почв юга Тувы А.Д. Самбуу, Ю.В. Бутанаев	149
Геохимическая индикация элементарных почвообразующих процессов по распределению породообразующих элементов в профиле горных почв (Средний Урал) И.А. Самофалова.....	152
Трансформация растительной биомассы в результате пирогенного воздействия Д.В. Сапронов.....	154
Реконструкции палеоклимата в середине голоцена на основе исследований погребённых почв большого кургана Ессентукский 1 в Предкавказье А.Э. Сверчкова, О.С. Хохлова.....	155
Новые характеристики почвенной экосистемы в парадигме почвы и почвообразовании А.М. Семенов, Д.А. Джукич, М. Лутовац, А.П. Глинушкин	157
Почвенная секвестрация углерода как направление исследований состава, динамики и функций почвенного органического вещества В.М. Семенов	159
Метагенетическое исследование биологических свойств и экологических функций почвы: методические ограничения и перспективы М.В. Семенов	161
Предотвращение миграции гербицидов в почвах с помощью активных углей Ю.Я. Спиридонов, В.М. Мухин.....	163
Мультимодальный подход к разработке стратегии снижения эмиссии парниковых газов от сельского хозяйства О.Э. Суховеева.....	165
Моделирование динамики почвенного органического углерода при зарастании пашен и повторной распашке залежей на Европейской территории России О.Э. Суховеева, И.Н. Курганова	167
Деструкция бенз(а)пирена в черноземе обыкновенном в условиях моделируемого эксперимента С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Т.С. Дудникова, Е.М. Антоненко, А.И. Барбашев.....	169
Особенности плотности сложения в почвах Ростовской агломерации С.С. Тагивердиев, С.Н. Горбов, О.С. Безуглова, П.Н. Скрипников.....	171
Постагrogenная динамика показателей гумусного состояния и биологической активности почв южной тайги В.М. Телеснина, И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню, В.И. Личко, Е.И. Караванова	173
Оценка совместного влияния противогололёдных реагентов и тяжёлых металлов на микробное дыхание городских почв Л.И. Трибис.....	175
Оценка минерализуемых пулов углерода и азота в почвах для разных гидротермических сценариев вегетационного сезона А.С. Тулина.....	177
Тепловой режим мерзлотных почв и многолетней мерзлоты северной якутии в связи с климатическими изменениями Д.Г. Федоров-Давыдов, В.Е. Остроумов, А.Л. Холодов, В.А. Сороковиков, Г.Н. Краев, А.В. Лупачев, А.А. Веремеева, С.П. Давыдов, А.И. Давыдова, И.И. Еремин, Д.Ю. Кропачев	179
Биопрепараты для ликвидации нефтяных загрязнений в России А.Е. Филонов, И.Ф. Пунтус, Л.И. Ахметов, А.А. Ветрова	181
Почвенные характеристики под валежом после массового и единичных ветровалов в зоне широколиственных лесов Л.Г. Ханина, М.В. Бобровский, К.В.Иващенко, В.Э. Смирнов	183

Начальные стадии восстановления засоленности почв и грунтов бывших рисовых систем Крыма Н.Б. Хитров, Л.В. Роговнева, В.С. Паштецкий	185
Микроорганизмы многолетнемерзлых отложений долины Пирс и горы Тейбл района Сухих долин Антарктиды А.К. Ходжаева, А.А. Абрамов, Н.Э. Демидов, Дж. Андерсон, Е.М. Ривкина.....	187
Содержание микробной биомассы и дыхательная активность почв береговой зоны Восточно-Сибирского моря А.К. Ходжаева, С.В. Губин.....	189
Роль снежного покрова в формировании зимних потоков CO ₂ из почвы: результаты полевого имитационного эксперимента Д.А. Хорошаев, В.О. Лопес де Гереню, В.А. Жмурин, И.Н. Курганова.....	192
Разнообразие и микроморфологические особенности карбонатных аккумуляций в почвах Байкальского региона О.С. Хохлова, В.А. Голубцов	194
Аккумуляция Zn растениями тростника южного (<i>Phragmites australis</i> Cav.) в импактной зоне Каменск-Шахинского района (Ростовская область) В.А. Чаплыгин, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, Ю.А. Литвинов.....	196
Формирование морфологических признаков лесостепных черноземов под лесополосами и на пашнях Ю.Г. Чендев, А.Н. Геннадиев, С.В. Лукин, Е.А. Заздравных.....	198
Особенности позднеголоценовой трансформации черноземов в серые лесные почвы на разных породах Ю.Г. Чендев, И.В. Иванов, А.Л. Александровский, В.Г. Белеванцев.....	201
Воздействие бенз(а)пирена на структуру тканей ярового ячменя Н.П. Черникова, А.Г. Федоренко, Т.М. Минкина, С.Н. Сушкова	203
Запасы углерода в почвах лесных районов Сибири О.В. Честных, В.И. Грабовский, Д.Г. Замолотчиков	205
Применение стимулирующих рост растений ризосферных бактерий: перспективы в фиторемедиации загрязненной кадмием и свинцом почвы В.П. Шабаетов.....	207
Почвы горной катены Полярного Урала: условия формирования, разнообразие, распределение углерода и азота Е.В. Шамрикова, Е.В. Жангуров, Е.Е. Кулюгина, О.С. Кубик.....	209
Анализ продукционных показателей древостоев разного состава средствами имитационного моделирования В.Н. Шанин, С.С. Быховец, П.Я. Грабарник, П.В. Фролов, М.П. Шашков, Н.В. Иванова.....	211
RUFOSS – программный модуль интеграции имитационных моделей для оценки взаимодействий между лесными экосистемными услугами В.Н. Шанин, Н.В. Лукина, Д.Н. Тебенькова, С.И. Чумаченко, П.Я. Грабарник, О.Г. Чертов, С.А. Кондратьев, Л.Г. Ханина, П.В. Фролов, С.С. Быховец, М.В. Бобровский, В.В. Киселева, Ю.В. Карпечко, М.В. Шамакова, А.А. Колычева, Е.М. Митрофанов.....	212
Анализ структуры современных и реликтовых сообществ почвенной микрофауны севера Якутии А.В. Шатилов, П.Я. Грабарник, С.В. Быкова, А.Ю. Рысс.....	214
Новая сказка про спящую красавицу: бделлоидная коловратка из поздне- плейстоценовой мерзлоты Л.А. Шамакова, Н.С. Яковенко, С.А. Малявин, Т.А. Вишневская, Е.М. Ривкина	216
Органогенные педоседименты островов Карского моря – свидетельства климатических изменений в позднеледниковое и голоценовое время А.А. Юртаев, А.Л. Александровский.....	218

Использование биочара в качестве сорбента в загрязненной Cd почве А.В. Барахов, В.А. Чаплыгин, М.С. Бурачевская, С.С. Манджиева, Т.М. Минкина, А.А. Фролова, Н.П. Черникова	220
Оценка фракционно-группового состава тяжелых металлов в техногенно загрязненных высокобуферных почвах С.С. Манджиева, Т.М. Минкина, Д.В. Брень, Т.В. Бауэр, М.В. Бурачевская, И.Г. Дерябкина, А.Ю. Яковленко	222

ПОЧВА КАК КОМПОНЕНТ БИОСФЕРЫ: ЭВОЛЮЦИЯ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Материалы Всероссийской научной конференции

Научное издание

М.: Товарищество научных изданий КМК. 2020. 228 с.

Отпечатано в типографии ООО «Галлея-Принт»

Подписано в печать 21.10.2020

Печать цифровая

Формат 60×88/8 Усл. печ. л. 16,2

Заказ № 069-20. Тираж 100 экз.