

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2022

Том 5. Выпуск 3

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77 - 72325 — сетевое издание от 14 февраля 2018 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес издателя и редакции: 630090, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 8/2, тел.: +7(383) 363-90-35, ИПА СО РАН, e-mail: redactor@soils-journal.ru, сайт: <https://www.soils-journal.ru>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Якименко Владимир Николаевич – доктор биологических наук, зав. лабораторией агрохимии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Заместители главного редактора

Дергачева Мария Ивановна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Соколов Денис Александрович – доктор биологических наук, зав. лабораторией рекультивации почв, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Члены редколлегии

Андроханов Владимир Алексеевич – доктор биологических наук, директор, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Абакумов Евгений Васильевич – профессор РАН, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет

Бойко Василий Сергеевич – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заместитель директора по научной работе, ФГБНУ Омский аграрный научный центр (Омск, Россия)

Будажанов Лубсан-Зонды Владимирович – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор, ФГБНУ Бурятский НИИ сельского хозяйства (Улан-Удэ, Россия)

Гамзиков Геннадий Павлович – академик РАН, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

Гольева Александра Амуриевна – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Институт географии РАН (Москва, Россия)

Кулижский Сергей Павлович – доктор биологических наук, профессор, проректор по социальным вопросам, ФГБОУ ВО Национальный Исследовательский Томский государственный университет (Томск, Россия)

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования, ФГБОУ ВО Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук, профессор, директор, ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия)

Рожков Вячеслав Александрович – член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН Почвенный институт им.В.В. Докучаева (Москва, Россия)

Седов Сергей Николаевич – кандидат биологических наук, ведущий исследователь Института геологии Национального автономного университета Мексики (UNAM, Мехико, Мексика)

Сиромля Татьяна Ивановна – доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Сысо Александр Иванович – доктор биологических наук, заместитель директора по науке, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Убугунов Леонид Лазаревич – доктор биологических наук, профессор, директор, ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Чевычелов Александр Павлович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией генезиса почв и радиоэкологии, ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск, Россия)

Танасиенко Анатолий Алексеевич – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Шарков Иван Николаевич – доктор биологических наук, доцент, руководитель Сибирского НИИ земледелия и химизации СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Шпедт Александр Артурович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор, ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Якутин Михаил Владимирович – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеоценологии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Содержание

Якименко В.Н., Наумова Н.Б., Нечаева Т.В., Голп Н.В.

От редакции

e191

Биология и биохимия почв

Данилова А.А., Петров А.А. Опыт визуализации почвенно-микробиологических процессов в световом микроскопе. Сообщение 2. Наблюдение за участием грибов в образовании нового органического вещества почвы

e185

Органическое вещество почв

Ахатов А., Буриев С.С., Нурматова В.Б., Жураев Г.А. Гумус коричневых почв горных пастбищ Узбекистана

e174

Суханова Н.И., Кирюшин А.В. Особенности гумусного состояния черноземных почв, формирующихся в условиях выхода глубинного водорода в различных условиях увлажнения

e184

Антропогенные, агрогенные и городские почвы

Баженов А.В., Яковлев Е.Ю., Игловский С.А., Дружинин С.В.

Радиоэкологические исследования городских почв в Архангельской области

e182

Юбилеи и памятные даты

Якименко В.Н. Профессору В.М. Назарюку – 80 лет!

e183



ОТ РЕДАКЦИИ

Уважаемые читатели! Представляем очередной номер журнала «Почвы и окружающая среда».

Опыт визуализации почвенно-микробиологических процессов в световом микроскопе позволил А.А. Даниловой и А.А. Петрову рассмотреть один из возможных вариантов процесса образования нового органического вещества почв. На примере почв техногенных ландшафтов полярной Якутии показано, что новое органическое вещество почв представляет собой скопление плодовых тел грибов с разной степенью бактериальной переработки. Статья будет интересна как для специалистов в области почвенной микробиологии и экологии, преподавателей и студентов соответствующих специальностей, так и для широкого круга читателей.

В работе А. Ахатова с соавторами дана оценка содержания гумуса и его распределения в профиле коричневых почв горных пастбищ Узбекистана. Установлено, что распределение гумуса и его резервов в исследованных почвах неравномерно и подвержено влиянию эрозии. Потери ближнего и лабильного резервов гумуса приводят к снижению содержания общего гумуса в целом. Дальнейшее изучение содержания, накопления и восстановления гумуса в коричневых почвах имеет важное значение для разработки рекомендаций по рациональному использованию, противоэрозионной защите и увеличению продуктивности горных пастбищ Узбекистана.

В статье Н.И. Сухановой и А.В. Кирюшина изучены особенности гумусного состояния черноземных почв, формирующихся в условиях выхода глубинного водорода. Авторы пришли к заключению, что причиной трансформации гумуса почв западин в условиях дегазации из недр Земли является сочетание двух факторов: потока молекулярного водорода и сопутствующего переувлажнения. В ландшафтах с преобладанием черноземных почв это ведущие разрушительные факторы, хотя они неравномерны и в пространстве и во времени. Действие их сводится к установлению в почвах активного восстановительного режима, но реализация его и, в конечном итоге, результат изменения соответствующих показателей состояния гумуса зависит еще от других факторов, например, гидротермических условий природной зоны, в которой формируются конкретные почвы.

Радиоэкологические исследования городских почв в Архангельской области представлены в работе А.В. Баженова с соавторами. Показано, что содержание естественных и техногенных радионуклидов в почвах г. Мезени и п. Каменки не превышает предельно допустимых концентраций, характерных для городских поселений данного региона. Активность ^{137}Cs в изученных почвах зависит от степени антропогенного воздействия. Выявлены малоинтенсивные аномалии по удельному содержанию ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в городских почвах Архангельской области и рассмотрены их возможные причины. Результаты данного исследования будут интересны для почвоведов и экологов.

Продолжая рубрику юбилейных публикаций, представляем краткий биографический очерк, посвященный 80-летию со дня рождения Владимира Митрофановича Назарюка, профессора, доктора биологических наук, известного российского агрохимика. Плодотворно работая в ИПА СО РАН практически со дня его основания по настоящее время, В.М. Назарюк более пятидесяти лет посвятил решению актуальных проблем агрохимии, экологии и почвоведения, внося существенный вклад в развитие этих наук.

Надеемся, что более детальное знакомство со статьями номера будет полезно нашим читателям. Напоминаем, что на сайте журнала имеется возможность комментировать опубликованные статьи, к чему мы настоятельно приглашаем всех читателей.

Редакция журнала

В.Н. Якименко, Н.Б. Наумова, Т.В. Нечаева, Н.В. Гопп



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



ОПЫТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОЧВЕННО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СВЕТОВОМ МИКРОСКОПЕ. СООБЩЕНИЕ 2. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА УЧАСТИЕМ ГРИБОВ В ОБРАЗОВАНИИ НОВОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ

© 2022 А. А. Данилова ¹, А. А. Петров ²

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, а/я 356, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Россия. E-mail: Danilova7alb@yandex.ru

²Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. профессора Д.Д. Саввинова СВФУ, пр. Ленина, д. 43, г. Якутск, 677000, Россия. E-mail: Petrov_Alexey@mail.ru

Цель исследования: показать, как в микробных пейзажах выглядит начальный этап образования органического вещества почвы при участии грибов.

Место и время проведения. Исследования проведены в 2018-2021 гг. Объекты исследования: 1. Чернозём выщелоченный (Luvic Chernozem) в лесостепи Приобья; 2. Агросерая почва (Luvic Greyzemic Phaeozem) под многолетними посадками мискантуса (*Miscanthus sacchariflorus*) в лесостепи Приобья; 3. Комплекс мерзлотных аласных почв (Cryosols) разной степени пастбищной дигрессии в Лено-Амгинском междуречье; 4. Мерзлотные лугово-черноземные почвы (Cryosols) на высокой террасе р. Лена около г. Якутск; 5. Молодые почвы на отвалах после добычи золота и олова в полярной Якутии.

Методология. Длительность экспозиции стекол обрастания в полевых условиях составляла от вегетационного периода до года. Для наблюдения за образованием нового ПОВ стекла экспонировали в течение года во влажных образцах почв при постоянной температуре +2 °С. После экспонирования стекла сушили, фиксировали, красили карболовым эритрозинном (5%) и просматривали под микроскопом при возрастающем увеличении от ×40 до ×1000. Изучали по 50 полей зрения на одном стекле (на каждом варианте по 3 стекла). Фотографии получены при помощи микроскопа Primo Star Zeiss с видеокамерой AxioCam 105 color.

Основные результаты. Визуально формирование нового органического вещества состоит из следующих этапов: развитие гифы гриба, формирование скоплений минеральных частиц в пространстве около гиф, оплетание минеральных частиц гифами, формирование на гифах плодовых тел грибов, образование глобул, представляющих собой скопление минеральных частиц, растительных остатков, плодовых тел разной степени переработки, оплетенных гифами грибов.

Заключение. На примере почв техногенных ландшафтов полярной Якутии рассмотрен один из возможных вариантов процесса образования нового органического вещества. Показано, что новое органическое вещество в данных почвах представляет собой скопление плодовых тел грибов с разной степенью бактериальной переработки.

Ключевые слова: грибной мицелий; органическое вещество почвы; чернозем выщелоченный; мерзлотные почвы; молодые почвы техногенных ландшафтов; полярная Якутия

Цитирование: Данилова А.А., Петров А.А. Опыт визуализации почвенно-микробиологических процессов в световом микроскопе. Сообщение 2. Наблюдение за участием грибов в образовании нового органического вещества почвы // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 3. с185. DOI: [10.31251/pos.v5i3.185](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.185)

ВВЕДЕНИЕ

Длительное время роль микроорганизмов в образовании почвенного органического вещества (ПОВ) ограничивали участием в разложении поступающей растительной биомассы, основываясь на том факте, что углерод микробной биомассы в почве не превышает 1-2% от органического углерода (Сорг) (Dalal, 1998). В последние два десятилетия при помощи тонких биохимических исследований показано, что не менее 50% углерода ПОВ состоит из компонентов микробной некромассы, основная часть которой принадлежит грибам (Liang et al., 2016; Wiesmeier et al., 2019). Вопрос, как потенциально доступные к минерализации остатки микроорганизмов становятся частью устойчивой фракции ПОВ, признан одной из актуальных проблем почвенной биологии на современном этапе (Liang et al., 2020).

Установлено, что наиболее интенсивно новое органическое вещество (ОВ) образуется в почвах с высоким содержанием грибов (Habtewold et al., 2020). При первом приближении можно представить этот процесс в следующей последовательности – грибы в процессе разложения растительного опада формируют свое тело и потом из остатков этих тел образуется ПОВ. В

образовательном процессе для составления более полного представления механизмов образования ПОВ необходимо составление своеобразного видеоряда протекания его в масштабах реального времени. Подобный материал, полученный при помощи достаточно простых методов исследования, позволяет понять непрерывность процесса почвообразования, основным итогом (смыслом) которого является образование нового органического вещества (Wiesmeier et al., 2019).

Цель сообщения – показать, как в микробных пейзажах выглядит начальный этап образования ПОВ при участии почвенных грибов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в 2018-2021 гг. Объекты исследования:

1. Чернозём выщелоченный (Luvic Chernozem) в лесостепи Приобья (54°53'13,5" с.ш., 82°59'36,7" в.д.). Объект описан ранее (Данилова, 2018).
2. Агросерая почва (Luvic Greyzemic Phaeozem) под многолетними посадками мискантуса (*Miscantus sacchariflorus*) в лесостепи Приобья (54°53'13,5" с.ш., 82°59'36,7" в.д.) (Капустянчик и др., 2021).
3. Комплекс мерзлотных аласных почв (Cryosols) разной степени пастбищной дигрессии в Лено-Амгинском междуречье (62°33'24,3" с.ш., 130°54'01,4" в.д.). Объект описан ранее (Danilova et al., 2017).
4. Мерзлотные лугово-черноземные (Cryosols) почвы на высокой террасе р. Лена около г. Якутск (62°08'51" с.ш., 129°45'45" в.д.) (Барашкова и др., 2020).
5. Молодые посттехногенные почвы на территории отвалов Куларского золотоносного района в полярной Якутии. Возраст отвалов около 50 лет. Ниже приводим описание разрезов с этого объект (табл. 1). Классификация молодых посттехногенных почв проведена по Курачеву, Андроханову (2002).

Таблица 1

Описание разрезов молодых посттехногенных почв Куларского золотоносного района

Параметры	Описание
Разрез «Р-6-20»	
Дата описания	25.08.2020 г.
Местоположение	Левый берег ручья без названия. Ниже рудника Западный
Координаты	69°18'02,61" с.ш., 139°55'35,89" в.д.
Рельеф	Нижняя часть склона горы южной экспозиции, уклон 30-40°
Микрорельеф	Западно-бугорковатый
Растительность	Зеленомошный лиственничник
А _{мох} , 0-11(12) см	Влажный моховой покров
А _{перг} , 11(12)-18(20) см	Влажный, перегнойный горизонт черного цвета, степень разложения слабая
АВ, 18(20)-37 см	Мокрый, рыхлый, темно-бурый, мелкокомковатой структуры, пронизанный мелкими корнями растений суглинистый горизонт
10% НС1	Не реагирует
Тип почвы	Подбур
Разрез «Р-16-20»	
Дата описания	28.08.2020 г.
Местоположение	Левый берег ручья без названия. Ниже рудника «Западный»
Координаты	69°17'59,38" с.ш., 139°56'24,38" в.д.
Рельеф	Вершина отвала вскрышных пород
Микрорельеф	Техногенный, сглаженный
Растительность	Лиственнично-ивовый лишайниково-моховый, шикша, брусника
С ₁ , 0-9(10) см	Темно-бурый, неуплотненный, влажный, суглинистый, мелкокомковатой структуры, пронизанный мелкими корнями растений слой. Каменность 20-30%
С ₂ , 9(10)-19 см	Темно-бурый, уплотненный, влажный, суглинистый, мелкокомковатой структуры, щебнистый слой. Каменность 40-50%
10% НС1	Не реагирует
Тип почвы	Эмбриозем инициальный
Разрез «Р-4-20»	
Дата описания	25.08.2020 г.
Местоположение	Левый берег ручья без названия. Ниже ШСУ. Рудник «Западный»
Координаты	69°17'30,70" с.ш. 139°54'37,10" в.д.

Рельеф	Вершина отвала вскрышных пород
Микрорельеф	Неровный, бугорковатый
Растительность	Осока, вейник, мох, единичные экземпляры листовенницы
A ₀ , 0(1)-4(5) см	Моховой покров, опад трав
C, 4(5)-28 см	Темно-бурый, влажный, рыхлый, мелкокомковатой структуры, пронизанный мелкими корнями растений суглинистый слой. Каменистость 50-60%
10% HCl	Не реагирует
Тип почвы	Эмбриозем органо-аккумулятивный

Посттехногенные почвы кислые, содержание гумуса достаточно высокое (табл. 2)

Таблица 2

Физико-химические свойства посттехногенных почв Куларского золотоносного района

Разрез	Глубина, см	pH	Гумус, %	Физ. глина, %	Гранулометрический состав
Эмбриозем органо-аккумулятивный					
P-4-20	4(5)-28	5,1	3,1	7,5	Связаннопесчаный
Эмбриозем инициальный					
P-16-20	0-9(10)	5,3	3,4	13,8	Супесчаный
	9(10)-19	5,4	3,1	13,0	Супесчаный

Длительность экспозиции стекол обрастания в полевых условиях составляла от вегетационного периода до года. Для наблюдения за образованием нового ПОВ стекла экспонировали в течение года во влажных образцах почв при постоянной температуре +2 °С. После экспонирования стекла сушили, фиксировали, красили карболовым эритрозином (5%) и просматривали под микроскопом при возрастающем увеличении от ×40 до ×1000. Изучали по 50 полей зрения на одном стекле (на каждом варианте по 3 стекла). Фотографии получены при помощи микроскопа Primo Star Zeiss с видеокамерой AxioCam 105 color.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рисунке 1 показан фрагмент ПОВ, представляющего собой совокупность органического вещества разной степени переработки, живого вещества (корни растений, гифы, споры, плодовые тела грибов, клетки бактерий, водорослей и др.), мертвого вещества (некробиомасса) и минеральных частиц. При этом данное образование не случайно собранный конгломерат, а достаточно стабилизированная система. Как отмечено выше, расшифровка механизмов этой стабилизации признана одной из актуальных проблем биологии почв (Liang et al., 2020).

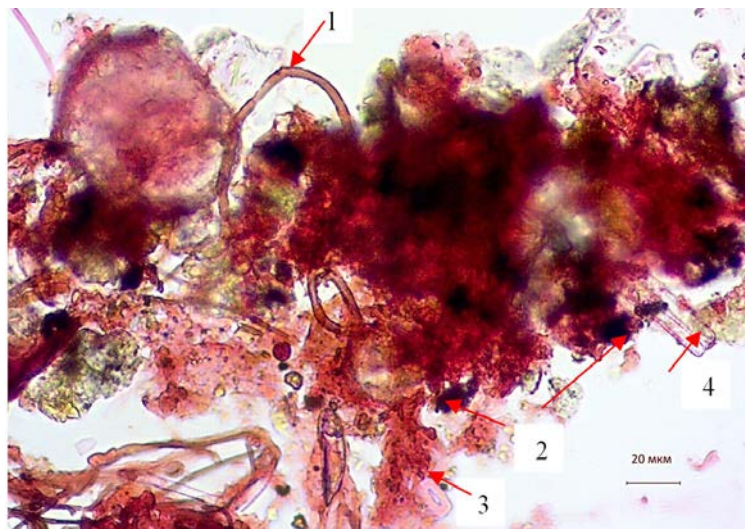


Рисунок 1. Микроскопический пейзаж фрагмента молодого органического вещества почвы в эмбриоземе органоаккумулятивном: 1 – гифы грибов; 2 – плодовые тела грибов; 3 – минеральные частицы покрытые органическим веществом; 4 – диатомовые водоросли. Увеличение ×400, масштабная линейка 20 мкм.

При помощи обычного светового микроскопа можно заметить неслучайность «сборки» таких образований. Так, наши многолетние наблюдения показывают, что процесс обрастания стекла во время экспозиции независимо от типа почвы протекает вполне закономерно в виде своеобразных «венков» (рис. 2). При более подробном наблюдении выяснено, что они образованы минеральными частицами, прилипшими к гифам грибов (рис. 2В).

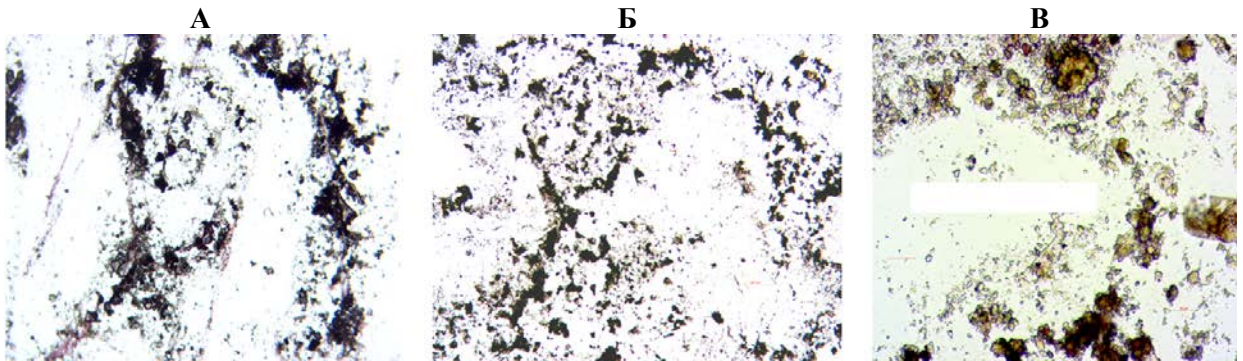


Рисунок 2. Закономерный характер обрастания стекла в почве. А – чернозем выщелоченный, пашня. Экспозиция стекла 2 месяца; Б, В – мерзлотная лугово-черноземная почва. Экспозиция стекла 1 год. Увеличение: А, Б – $\times 100$, В – $\times 400$.

При короткой экспозиции (вегетационный период) можно наблюдать начальный момент образования нового ОВ – концентрацию минеральных частиц около гиф (рис. 3).

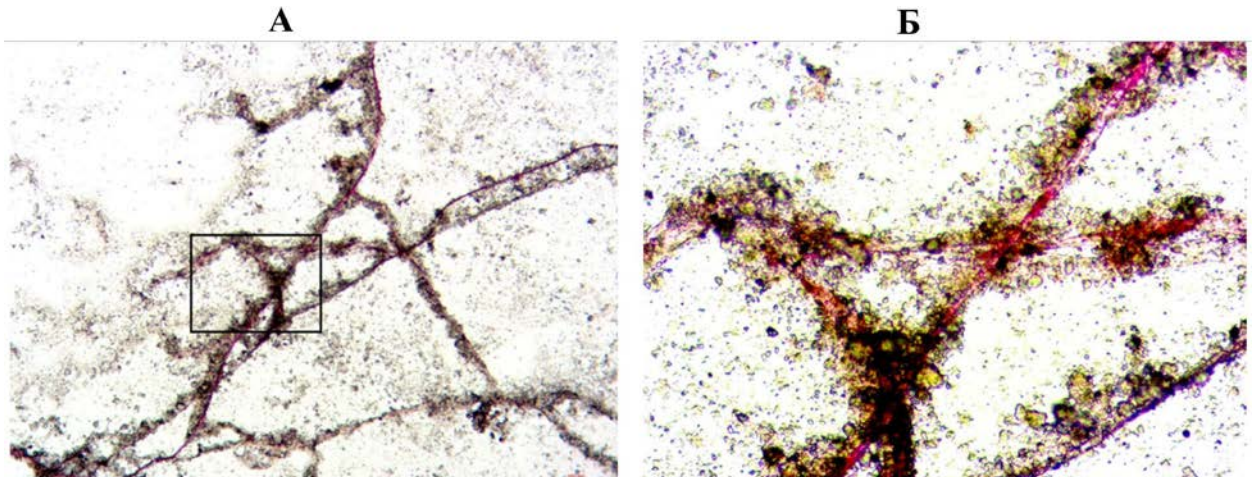


Рисунок 3. Концентрация минеральных частиц почвы в пространстве около гиф. Агросерая почва под многолетними посадками мискантуса (*Miscantus sacchariflorus*) в лесостепи Приобья. Экспозиция стекла: май – сентябрь 2019 г. Увеличение: А – $\times 100$, Б – $\times 400$.

На примере чернозема выщелоченного удалось рассмотреть механизм этого «прилипания». Так, на рис. 4 хорошо видно, как минеральные частицы оплетаются компонентами гиф и как бы «утопают» в облаке рыхлого органического вещества.

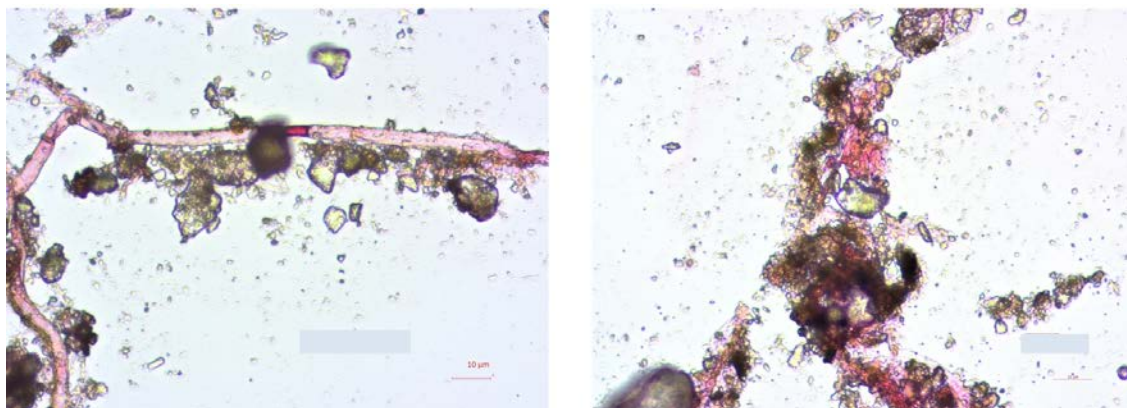


Рисунок 4. Начальный процесс образования скоплений минеральных частиц в пространстве около гиф. Чернозем выщелоченный, пашня, Приобье. Экспозиция стекла июнь-август 2018 г. Увеличение $\times 1000$.

На следующем этапе работы проследили строение этого «облака» молодого ОВ. Нам это удалось благодаря наблюдениям в почвах с относительно низким уровнем биологической активности (молодые посттехногенные почвы в криолитозоне), когда возникает возможность наблюдений как бы в условиях замедленной съемки, чего невозможно было сделать, например, в черноземе. Как известно, важнейшим компонентом грибного сообщества почвы являются представители высших грибов, в частности, базидиомицеты (Отдел Базидиомицота, объединяющий около 30 тыс. видов) (Гарибова, Лекомцева, 2005). По географии распространения они обнаружены от южных широт до полярных пустынь (Ширяев и др., 2018; Бондарцева, Змитрович, 2020). Представители этих грибов обнаружены во всех наших объектах исследования. В мерзлотной аласной остепненной почве мы смогли зафиксировать характерный для высших грибов половой процесс. Так, на рис. 5А показан процесс слияния двух типов гиф – соматогамия. В результате слияния двух гаплоидных гиф формируется диплоидное плодовое тело (у базидиомицетов – базидиома) (рис. 5Б). Отметим, что такую четкую картину соматогамии мы получили в естественных условиях обитания грибов. В доступной нам литературе обычно процесс представляют только в виде схем.

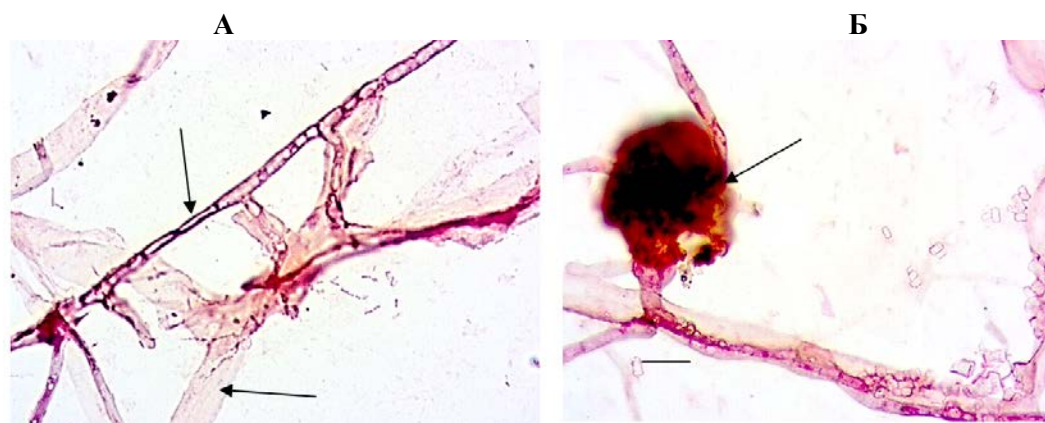


Рисунок 5 Соматогамия (слияние двух типов гиф, показаны стрелками) у высшего гриба (А), в результате которого образовалось плодовое тело (у базидиомицетов – базидиома) (Б). Почва мерзлотная аласная остепненная. Лено-Амгинское междуречье, Центральная Якутия. Экспозиция стекла: 1 год. Увеличение $\times 1000$. Масштабная линейка 10 мкм.

Сходный процесс мы наблюдали в молодой посттехногенной почве в полярной Якутии. Напомним, что стекла были выдержаны в образцах почв в течение года в холодильнике при постоянной температуре $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. На рисунке б заметна соматогамия и образование плодового тела. Последнее оказалось не таким плотным, как в предыдущей почве. В других случаях и в эмбриоземах встречаются достаточно плотные и крупные плодовые тела грибов (рис. 7А). Скопления их в фрагменте ОВ хорошо заметны (рис. 7Б).

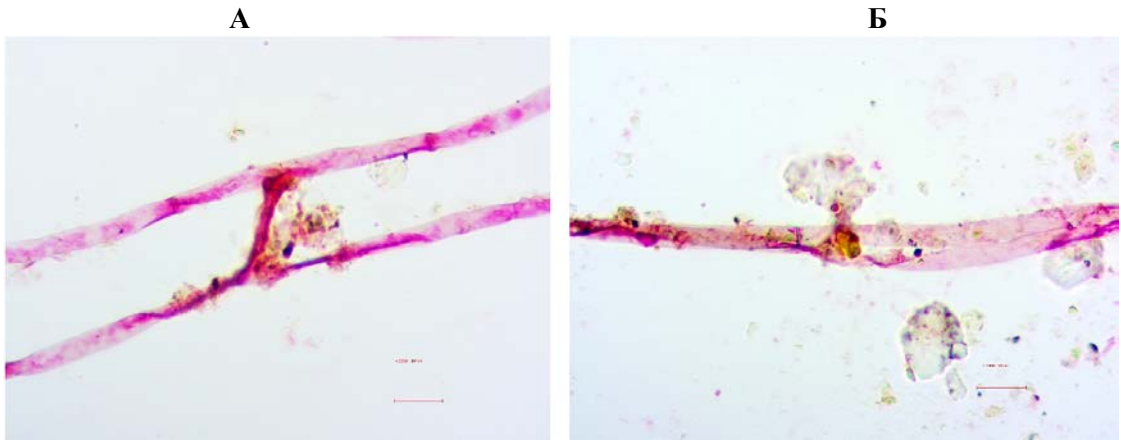


Рисунок 6. Соматогамия и образование плодового тела у гриба в эмбриоземе инициальном (полярная Якутия).
Образование анастомоза (А), слияние разных типов гиф (Б). Увеличение $\times 1000$. Масштабная линейка 10 мкм.

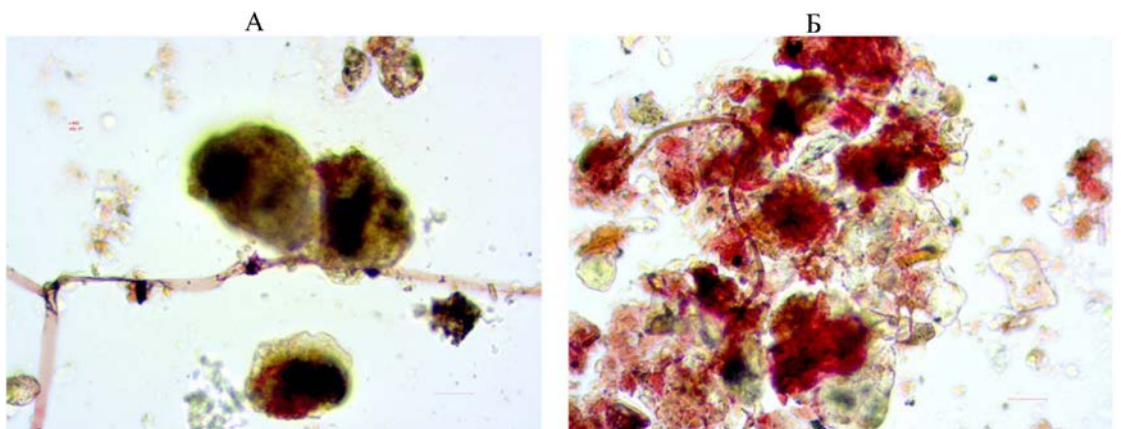


Рисунок 7. Вид плодовых тел на гифах (А) и в скоплении органического вещества (Б). Эмбриозем инициальный. Полярная Якутия. Увеличение $\times 400$.

Обзорный вид стеклов на этом опыте представлен на рисунке 8. Снова мы видим «венки» с той лишь разницей, что в эмбриоземе инициальном (ЭИ) процесс новообразования ПОВ был существенно слабее в сравнении с эмбриоземом органоаккумулятивным (ЭОА).

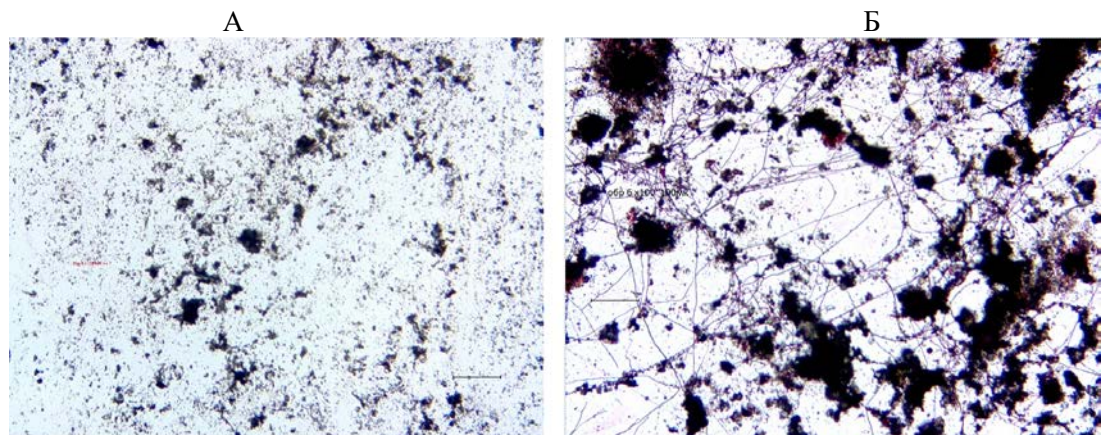


Рисунок 8. Общий вид состояния органического вещества в эмбриоземе инициальном (А) и эмбриоземе органо-аккумулятивном (Б).
А – грибных гиф не видно, органическое вещество «рассыпано» по полю зрения; Б – поле зрения насыщено гифами грибов, ОВ расположено скоплениями на разрастаниях гиф. Увеличение $\times 100$. Масштабная линейка 100 мкм.

На рисунке 9 показан более подробный вид этих «венков». В ЭИ видны гифы грибов с плодовыми телами (рис. 9А). Тогда как в ЭОА наблюдали уже сформированные стустки органического вещества, ассоциированные с минеральными частицами (рис. 9Б).

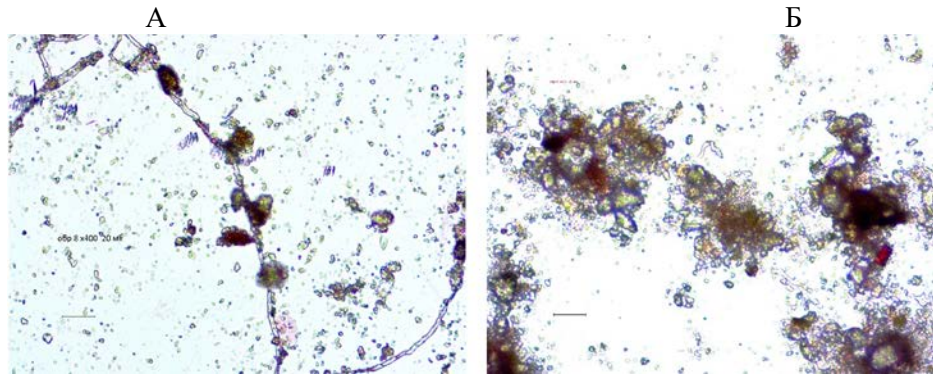


Рисунок 9. Состояние органического вещества в эмбриоземе инициальном (А) и эмбриоземе органо-аккумулятивном (Б).

А – на поле зрения редкие гифы грибов с хорошо заметными плодовыми телами; Б – ОВ ассоциировано с минеральными частицами, явная связь его с гифами не заметна. Увеличение $\times 400$. Масштабная линейка 20 мкм.

На рисунке 10 представлены обзорные фото для наблюдения за степенью переработки органического вещества. Так, в ЭИ первичное ОВ, представляющее собой скопление плодовых тел, уже перетерпел переработку – структура его достаточно однородна. В целом микробный пейзаж ЭИ оказался более разнообразным в сравнении с целинной почвой: наблюдали массовые разрастания дрожжеподобных клеток (рис. 10Б), бактерий (рис. 10Г). В ненарушенной почве в фрагментах ОВ хорошо видны остатки растительной ткани с ненарушенной анатомической структурой, пронизанные гифами грибов (рис. 10А, В). Соответственно ОВ на этом варианте более грубое в сравнении с ЭИ.

Подбур (ненарушенная почва)

Эмбриозем инициальный

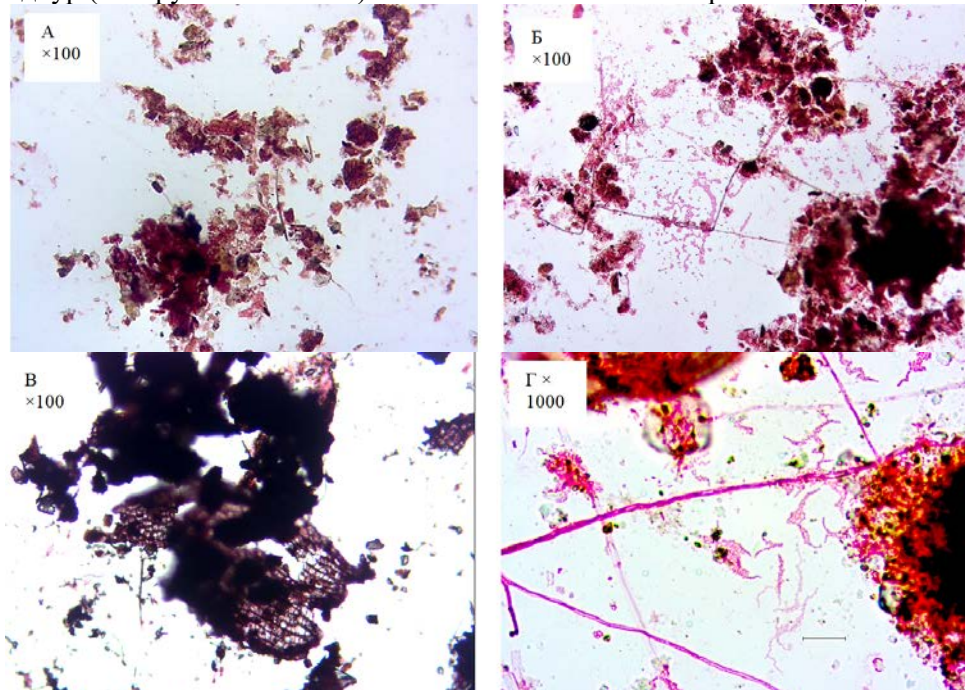


Рисунок 10. Различная степень переработки органического вещества (ОВ): А,В – включения растительных остатков с сохранившейся анатомической структурой; Б – достаточно однородная структура ОВ, в пейзаже много дрожжеподобных клеток; Г – при большом увеличении в пейзаже заметны колонии бактерий.

После масляного осветления более подробно рассмотрели состав фрагментов ОВ. Оказывается, что они в обоих случаях состоят в основном из скоплений плодовых тел (рис. 11).

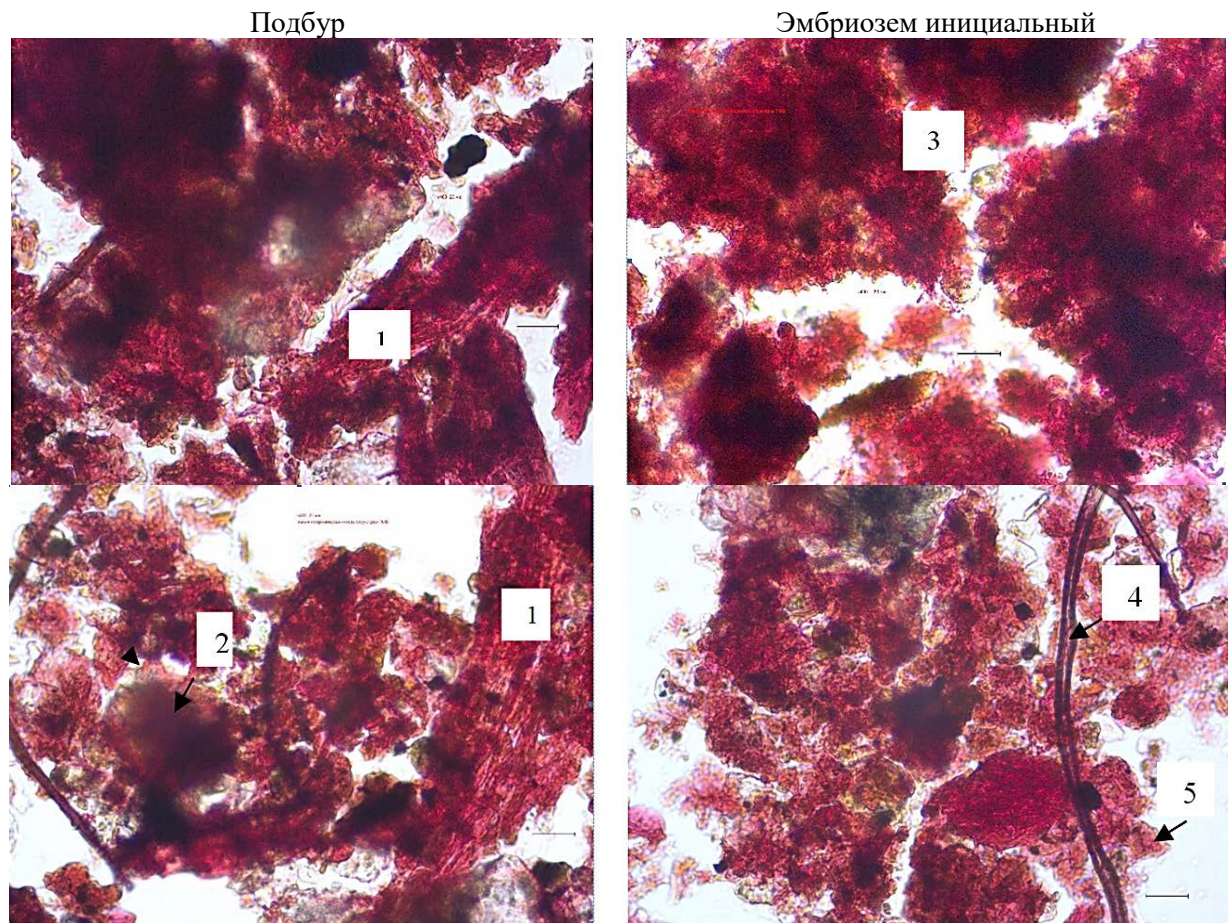


Рисунок 11. Микроскопическая картина состояния органического вещества (ОВ) с разной степенью переработки: 1 – остатки растений с сохранившейся анатомической структурой; 2 – плодовое тело гриба; 3 – фрагменты достаточно переработанного вещества, где клеточная структура растительных остатков не обнаруживается; 4 – живая гифа; 5 – минеральные частицы покрытые ОВ. Увеличение $\times 400$. Масштабная линейка 20 мкм.

В качестве итогов приводим сводный рисунок 12, где можно наблюдать этапы участия грибов в образовании нового ОВ почвы. На рис. 12: 1 – 6 представлена микроскопическая картина грубого органического вещества, образовавшегося под естественной растительностью в условиях кислой реакции среды, при ограниченных ресурсах тепла под преобладающим влиянием грибов. На рис. 12: 7 – 12 представлен вид ПОВ в молодой посттехногенной почве, где при тех же условиях среды интенсивность обрастания стекла была значительно слабее в сравнении с естественной почвой и ЭОА. При этом фрагменты ПОВ оказались более переработанными видимо вследствие того, что в микробном сообществе наряду с грибами встречались бактерии и дрожжи.

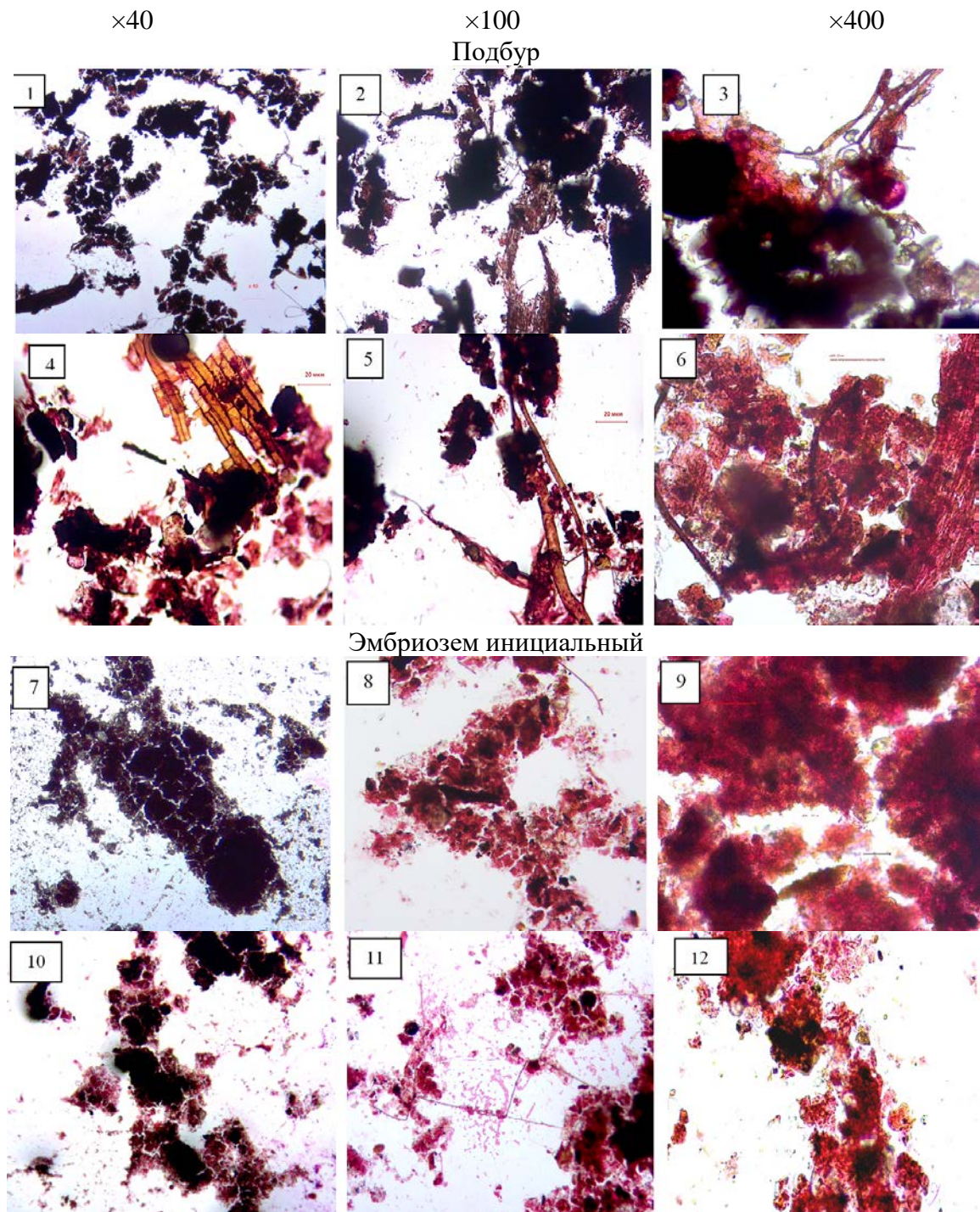


Рисунок 12. Участие грибов в образовании почвенного органического вещества (ПОВ), наблюдаемый в микробных пейзажах после экспонирования стекол в образцах полярных почв в течение года: 1 – 5 грибы только заселяют растительные остатки (РО), плодовые тела находятся над поверхностью стекла; 6 – вид ПОВ, включающий кроме грибных компонентов РО с сохранившимся анатомическим строением; 7, 8, 10, 11 – переработанная биомасса прилипла к стеклу, РО с сохранившейся клеточной структурой отсутствуют; 9 – при большом увеличении заметно, что ОВ состоит в основном из остатков плодовых тел; 12 – минеральные частицы, покрытые слоем ПОВ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, исследование, проведенное на разных типах почв, еще раз подтвердило универсальность начальных процессов образования нового органического вещества почвы независимо от особенностей условий почвообразования.

На первый взгляд может показаться, что, информация, изложенная в данном сообщении, давно известна почвоведом. Ни у кого не вызывает сомнения утверждение о том, что основным источником ПОВ являются растительные остатки, переработанные микроорганизмами. Однако, несмотря на достаточно продвинутое методики исследований, до полной расшифровки этого положения все еще очень далеко (Kästner et al., 2020). В контексте нашего сообщения было важно визуально представить этот процесс в масштабах реального времени и пространства. Значение подобного материала в образовательном процессе не вызывает сомнений.

В методическом плане считаем удачным подбор типов почв для визуализации процесса. В почвах с высокой биологической активностью сложно «поймать» начальный процесс формирования органического вещества, так как в преобладающем числе случаев высокая активность переработки материала не позволяет визуально зафиксировать начало процесса. Кроме того, оказалось информативным масляное осветление мазка в течение, как минимум, суток, что в ряде случаев позволяет рассмотреть внутреннюю структуру скоплений ПОВ.

В данной работе нам удалось показать, что при помощи очень доступной и понятной методики можно заглянуть в достаточно скрытый процесс образования молодого органического вещества почвы.

Наряду с образовательным и методическим значением представленный материал дает визуальное дополнение к информации по биологии посттехногенных почв. Известно, что микробная заселенность последних часто бывает выше в сравнении с аналогичными ненарушенными почвами (Клевенская и др., 1985). При этом поступление свежего растительного материала вызывает в них более выраженный функциональный отклик микробного сообщества в сравнении с ненарушенной почвой (Данилова и др., 2019). Отсюда нам кажется вполне понятным факт более глубокой переработанности ОВ в эмбриоземе инициальном в сравнении с подбуром. Как показывают наши многолетние наблюдения, подобный феномен типичен для антропогенно нарушенных почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере почв, сформировавшихся в различных климатических условиях, рассмотрен один из возможных вариантов процесса образования органического вещества в почве. Показано, что новое органическое вещество в молодых почвах техногенных ландшафтов полярной Якутии представляет собой скопление плодовых тел грибов с разной степенью бактериальной переработки.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках выполнения государственных заданий ГЗ 0778-2019-0024 «Разработать перспективные системы земледелия на основе изучения, моделирования и прогноза количественных изменений свойств почв и продуктивности культур под влиянием длительного антропогенного воздействия в основных природно-сельскохозяйственных зонах Западной Сибири (СФНЦА РАН) и НМНиВО (проект FSRG-2020-0018) «Изучение особенностей функционирования Арктических и Субарктических экосистем Якутии в условиях усиления техногенного воздействия и глобального изменения климата» (НИИПЭС СВФУ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Барашкова Н.В., Данилова А.А., Аржакова А.П., Мартынова Л.В., Устинова В.В., Иванова Л.С. *Продуктивность и средообразующий потенциал луговых фитоценозов в условиях среднетаежной подзоны Якутии*. Новосибирск: Наука, СО РАН, 2020. 218 с.
2. Бондарцева М.А., Змитрович И.В. Род *SISTOTREMA (CANTHARELLALES, HYDNACEAE)* в России // *Микология и фитопатология*. 2020. Т. 54. № 1. С. 3–15. DOI: 10.31857/S0026364820010043
3. Гарибова Л.В., Лекомцева С.Н. *Основы микологии*. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 220 с.
4. Данилова А.А. *Биодинамика пахотной почвы при различном содержании органического вещества*. Новосибирск: Изд-во СФНЦА РАН, 2018. 156 с.
5. Данилова А.А., Легостаева Я.Б., Сивцева Н.Е., Петров А.А. *Способ оценки устойчивости сапротрофного микробного сообщества почвы методом мультисубстратного теста* // Патент № 2678876. 2019. Бюл. № 3.
6. Капустянчик С.Ю., Данилова А.А., Лихенко И.Е. *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS* в Сибири: параметры продукционного процесса, динамика биофильных элементов // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 121–134. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.121rus
7. Клевенская И.Л., Трофимов С.С., Таранов С.А., Кандрашин Е.Р. Сукцессии и функционирование микробоценозов в молодых почвах техногенных экосистем Кузбасса // *Микробоценозы почв при антропогенном воздействии*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. С. 3–20.

8. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // *Сибирский экологический журнал*. 2002. № 3. С. 255–261.
9. Ширяев А.Г., Змитрович И.В., Ежов О.Н. Таксономическая и экологическая структура биоты базидиальных макромицетов полярных пустынь Северного полушария // *Сибирский экологический журнал*. 2018. № 5. С. 526–544. DOI: 10.15372/SEJ20180503
10. Dalal R.C. Soil microbial biomass: what do the numbers really mean? // *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 1998. Vol. 38. P. 649–665. DOI:10.1071/EA97142
11. Danilova A.A., Savvinov G.N., Gavril'eva L.D., Danilov P.P., Ksenofontova M.I., Petrov A.A. Short-term exclusion of degraded pasture in the permafrost zone: aspects of soil microbial community // *Arid Ecosystems*. 2017. Vol. 7. № 3. P. 184–190. DOI: 10.1134/S2079096117030039
12. Habtewold J.Z., Helgason B.L., Yanni S.F., Janzen H.H., Ellert B.H., Gregorich E.G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities // *European Journal of Soil Biology*. 2020. Vol. 98. P. 103190. DOI: 10.1016/j.ejsobi. 2020.103190
13. Kästner M., Miltner A. SOM and Microbes – What Is Left From Microbial Life // *The Future of Soil Carbon*. Chapter 5. Academic Press. 2018. P. 125–163. DOI:10.1016/B978-0-12-811687-6.00005-5
14. Liang C., Kao-Kniffin J., Sanford G.R., Wickings K., C.Balser T., Jackson R.D. Microorganisms and their residues under restored perennial grassland communities of varying diversity // *Soil Biology and Biochemistry*. 2016. Vol.103. P.192–200. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.08.002
15. Liang C., Kästner M., Joergensen R.G. Microbial necromass on the rise: The growing focus on its role in soil organic matter development // *Soil Biology and Biochemistry*. 2020. Vol. 150. DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.108000
16. Wiesmeier M., Livia Urbanski L., Hobley E., Lang B., Lützow M. von, Marin-Spiotta E., Wesemael B. van, Rabot E., Ließ M., Garcia-Franco N., Wollschläger U., Vogel H.-J., Kögel-Knabner I. Soil organic carbon storage as a key function of soils – A review of drivers and indicators at various scales // *Geoderma*. 2019. Vol. 333. P. 149–162. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.07.026

Поступила в редакцию 05.07.2022

Принята 17.08.2022

Опубликована 29.08.2022

Сведения об авторах:

Данилова Альбина Афанасьевна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия); Danilova7alb@yandex.ru

Петров Алексей Анатольевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. профессора Д.Д. Саввинова СВФУ (Якутск, Россия); Petrov_Alexey@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

VISUALIZATION OF SOIL MICROBIOLOGICAL PROCESSES USING A LIGHT MICROSCOPE

PART 2. OBSERVING FUNGI PARTICIPATION OF IN THE FORMATION OF NEW SOIL ORGANIC MATTER

© 2022 A. A. Danilova ¹, A. A. Petrov ²

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the RAS, Krasnoobsk, Russia.

Danilova7alb@yandex.ru

²North-Eastern Federal University, Institute of Applied Ecology of the North, Yakutsk, Russia,

Petrov_Alexey@mail.ru

The aim of the study was to describe how the initial stage of soil organic matter formation with the participation of fungi looks like in microbial landscapes.

Location and time of the study. The studies were carried out in 2018-2021. The objects of study: 1) leached chernozem (Luvic Chernozem), the forest-steppe of the Ob region (54°53'13.5" N and 82°59'36.7" E); 2) agro gray soil (Luvic Greyzemic Phaeozem) under perennial culture of *Miscunthus sacchariflorus*, the forest-steppe of the Ob region (54°53'13,5" N and 82°59'36,7" E); 3) a complex of permafrost alas soils (Cryosols) of varying degrees of pasture digression, Lena-Amga interfluve (62°33'24.3" N and 130°54'01.4"

E); 4) cryogenic meadow-chnozem (Cryosol) soils on the high terrace of the Lena River near the city of Yakutsk (62°08'51" N, 129°45'45" E); and 5) Young soils on dumps after gold and tin mining in polar Yakutia (69°18'02,61" N, 139°55'35,89" E).

Methodology. The duration of glass slide exposure in field conditions ranged from a growing season to a year. To monitor the formation of new soil organic matter, glass slides were exposed for a year in moist soil samples at a constant temperature of +2°C. After exposure, the glass slides were dried, fixed, stained with carbolic erythrosine (5%), and examined microscopically at magnification of x40-x1000. We studied 50 fields of vision on one glass slide (3 slides on each variant). The snapshots were taken using Primo Star Zeiss microscope with an Axiocam105 color video camera.

Results. Visually, the formation of a new soil organic matter consists of the following stages: development of a fungal hyphae, accumulation of mineral particles in the space around hyphae, braiding of mineral particles with hyphae, formation of fungal fruiting bodies (basidiomata) and formation of globules, consisting of mineral particles, plant residues and fungal fruiting bodies of varying degrees of bacterial processing braided with hyphae of fungi.

Conclusions. The study presents one of the possible ways of new organic matter formation in the soils of technogenic landscapes of polar Yakutia. It was shown that young organic matter in these soils consists of the aggregation of fungal fruiting bodies at different stages of bacterial processing.

Key words: fungal hyphae; soil organic matter; leached chernozem; alas soils; young soils of technogenic landscapes; polar Yakutia

How to cite: Danilova A.A., Petrov A.A. Visualization of soil microbiological processes using a light microscope. Part 2. Observing the fungi participation in the formation of new soil organic matter // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(3). e185. DOI: [10.31251/pos.v5i3.185](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.185) (in Russian with English abstract)

REFERENCES

1. Barashkova N.V., Danilova A.A., Arzhakova A.P., Martynova L.V., Ustinova V.V., Ivanova L.S. *Productivity and environment-forming potential of meadow phytocenoses in the conditions of the middle taiga subzone of Yakutia*. Novosibirsk: Nauka Publ., 2020, 218 p. (in Russian)
2. Bondartseva M.A., Zmitrovich I.V. The Genus *Sistotrema* (Cantharellales, Hydnaceae) in Russia, *Mycology and Phytopathology*, 2020, Vol. 54, No. 1, p. 3–15. DOI: 10.31857/S0026364820010043. (in Russian)
3. Garibova L.V., Lekomtseva S.N. *Fundamentals of mycology*. M.: Association of Scientific Publications KMK, 2005, 220 p. (in Russian)
4. Danilova A.A. *Biodynamics of agricultural soil at various content of organic substance*. Novosibirsk: SFNTsA RAN Publ., 2018, 156 p. (in Russian)
5. Danilova A.A., Legostaeva YA.B., Sivceva N.E., Petrov A.A. *A method for assessing the stability of the soil saprotrophic microbial community by the multisubstrate test method*. Patent No. 2678876. 2019. Byul. No. 3. (in Russian)
6. Kapustyanchik S.Yu., Danilova A.A., Likhnenko I.E. MISCANTHUS SACCHARIFLORUS in Siberia: parameters of the production process, dynamics of biophilic elements, *Agricultural biology*, 2021, Vol.56, No. 1, p. 121–134. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.121rus. (in Russian)
7. Klevenskaya I.L., Trofimov S.S., Taranov S.A., Kandrashin E.R. *Succession and functioning of microbocenoses in young soils of technogenic ecosystems of Kuzbass*, Microbocenoses of soils under anthropogenic disturbance. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985, p. 3–20. (in Russian)
8. Kurachev V.M., Androhanov V.A. Classification of soils of technogenic landscapes, *Contemporary Problems of Ecology*, 2002, No. 3, p. 255–261. (in Russian)
9. Shiryaev A.G., Zmirtrovich I.V., Ezhov O.N. Taxonomic and Ecological Structure of Biota of Basidial Macromycetes in the Polar Deserts of the Northern Hemisphere, *Contemporary Problems of Ecology*, 2018, No. 5, p. 526–544. DOI: 10.15372/SEJ20180503. (in Russian)
10. Dalal R.C. Soil microbial biomass: what do the numbers really mean? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1998, Vol. 38, p. 649–665. DOI: 10.1071/EA97142
11. Danilova A.A., Savvinov G.N., Gavril'eva L.D., Danilov P.P., Ksenofontova M.I., Petrov A.A. Short-term exclusion of degraded pasture in the permafrost zone: aspects of soil microbial community, *Arid Ecosystems*, 2017, Vol. 7, No. 3, p. 184–190. DOI: [10.1134/S2079096117030039](https://doi.org/10.1134/S2079096117030039)
12. Habtewold J.Z., Helgason B.L., Yanni S.F., Janzen H.H., Ellert B.H., Gregorich E.G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities, *European Journal of Soil Biology*, 2020, Vol. 98, p. 103190. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2020.103190](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103190)
13. Kästner M., Miltner A. *SOM and Microbes – What Is Left From Microbial Life*, The Future of Soil Carbon. Chapter 5. Academic Press, 2018, p. 125–163. DOI: 10.1016/B978-0-12-811687-6.00005-5

14. Liang C., Kao-Kniffin J., Sanford G.R., Wickings K., C.Balser T., Jackson R.D. Microorganisms and their residues under restored perennial grassland communities of varying diversity, *Soil Biology and Biochemistry*, 2016, Vol. 103, p. 192–200. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.08.002
15. Liang C., Kästner M., Joergensen R.G. Microbial necromass on the rise: The growing focus on its role in soil organic matter development, *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, Vol. 150. DOI:10.1016/j.soilbio.2020.108000
16. Wiesmeier M., Livia Urbanski L., Hobley E., Lang B., Lützow M. von, Marin-Spiotta E., Wesemael B. van, Rabot E., Ließ M., Garcia-Franco N., Wollschläger U., Vogel H.-J., Kögel-Knabner I. Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales, *Geoderma*, 2019, Vol. 333, p. 149–162. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.07.026

Received 05 July 2022

Accepted 17 August 2022

Published 29 August 2022

About the authors:

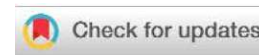
Danilova Albina Afanasyevna – Doctor of Biological Sciences, Principal Researcher in the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia); Danilova7alb@yandex.ru

Petrov Alexey Anatolyevich – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the North-Eastern Federal University, Institute of Applied Ecology of the North (Yakutsk, Russia); Petrov_Alexey@mail.ru

The author read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



ГУМУС КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ ГОРНЫХ ПАСТБИЦ УЗБЕКИСТАНА

© 2022 А. Ахатов , С. С. Буриев , В. Б. Нурматова , Г. А. Жураев 

Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий при Государственном комитете по экологии и охране окружающей среды Республики Узбекистан, проспект Бунёдкор, дом 7а, 100043, г. Ташкент, Республика Узбекистан. E-mail: nurmatoffkennel@gmail.com

Цель исследования: оценка содержания гумуса и его распределения в профиле коричневых почв горных пастбищ Узбекистана.

Место и время проведения. Почвенные разрезы заложены на юго-востоке Республики Узбекистан в семи сельскохозяйственных районах, широко используемых в сельском хозяйстве: Ташкентский вилоят, Бустонликский туман; Джизакский вилоят, Зоминский туман; Самаркандский вилоят, Нурабадский туман; Навоийский вилоят, Нуратинский туман; Кашкадарьинский вилоят, Китабский туман; Сурхандарьинский вилоят, Шерабадский туман; Наманганский вилоят, Папский туман. Исследования проведены в 2019–2021 гг.

Методы. Полевые исследования, отбор образцов и пробоподготовка выполнены в соответствии с общепринятыми методиками: содержание органического углерода путем бихроматного окисления, карбонатов с помощью ацидиметрического метода, неорганического углерода – как разницу от общего содержания карбонатов. Илстые фракции выделяли с помощью центрифугирования. Оценка дифференциации гумуса по резервам выполнена авторским методом.

Основные результаты. Изученные коричневые почвы горных пастбищ Узбекистана характеризуются суглинистым гранулометрическим составом с долей илистой фракции, не превышающей 20%. Содержание карбонатов невелико (2,5–9%), с максимальным количеством в карбонатном горизонте. Почвы слабовыщелочены. Общее содержание гумуса в верхнем горизонте варьирует от 1 до 6,6%. Отмечена зависимость гумусированности почв от экспозиции склона: в почвах более увлажняемых северных и западных склонов содержится большее количества гумуса, чем на южных и восточных. Кроме того, на содержание гумуса значительно влияет эрозия. Для оценки характера изменения органического вещества коричневых почв при их хозяйственном использовании впервые был выделен гумус ближнего, лабильного и потенциального резервов (в % от общего содержания). Выявлено, что в почвах преобладает гумус потенциального резерва (35,5–90%). Его вертикальное распределение отличается резким снижением в подгумусовой части, в то время как гумус ближнего и лабильного резервов распределен в профиле равномерно, без выраженной зависимости от внешних условий и степени нарушенности. Доля нерастворимых органических веществ от общего содержания гумуса колебалась от 0,39 до 86%, труднорастворимых – от 3 до 100%. Наблюдается зависимость между количеством труднорастворимых и нерастворимых органических веществ в верхнем горизонте и степенью эродированности почв.

Заключение. Установлено, что распределение гумуса и его резервов в коричневых почвах горных пастбищ Узбекистана неравномерно и сильно подвержено влиянию эрозии. Потери ближнего и лабильного резервов гумуса приводят к снижению содержания общего гумуса в целом. Дальнейшее изучение особенностей гумуса, его накопления и восстановления в коричневых почвах имеет важное значение для разработки рекомендаций по рациональному использованию, противоэрозионной защите и увеличению продуктивности горных пастбищ Узбекистана.

Ключевые слова: коричневые почвы; органическое вещество; гумус резерва; карбонаты; эрозия почв; рациональное землепользование

Цитирование: Ахатов А., Буриев С.С., Нурматова В.Б., Жураев Г.А. Гумус коричневых почв горных пастбищ Узбекистана // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 3. e174. DOI: [10.31251/pos.v5i3.174](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.174)

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что гумус является ключевым компонентом почвы, влияющим на продуктивность экосистем, контролирующим широкий спектр процессов, включая потоки парниковых газов, круговорот питательных веществ, инфильтрацию и удержание воды (Lehmann et al., 2020; Doran et al., 1994). Содержание гумуса в почвах определяется множеством факторов, один из которых – антропогенный. Вовлечение земель в сельскохозяйственный оборот, их интенсивное использование обуславливает утрату почвенного плодородия (Davidson, Ackerman, 1993; Guo,

Gifford, 2002; Mann, 1986; Franzluebbers, 2022; Haddaway et al., 2017; Chen et al., 2020). Снижение темпов дегумификации почв и повышение эффективности сельскохозяйственного производства является актуальной проблемой в сфере управления земельными ресурсами, особенно в тех регионах, где наблюдается их дефицит в связи с неблагоприятными условиями климата или рельефа.

Сельское хозяйство – одна из важнейших отраслей экономики Узбекистана, в которой последовательно реализуется стратегия продовольственной безопасности страны (Стратегия ..., 2019). Наиболее благоприятные условия для ведения сельского хозяйства складываются в долинах рек, где традиционно развито земледелие на орошаемых аллювиальных почвах, а также на пологих предгорьях и подгорных равнинах, где низкопродуктивные опустыненные степи на сероземах используются как пастбища, а лугово-сероземные почвы – как орошаемые пашни (Кузиев и др., 2016). Несоблюдение агротехнических, агрометеорологических, гидромелиоративных мероприятий в землепользовании в условиях засушливого климата вызывает засоление и дегумификацию этих почв (Абдуллаев и др., 2016). В горных районах юга и юго-востока Узбекистана широко распространены горные пастбища и сенокосы на коричневых почвах. Принятие в стране в 2019 году закона о пастбищах (Закон ..., 2019) и стратегии развития сельского хозяйства на 2020-2030 годы (Стратегия ..., 2019) стало толчком к активному использованию этих земель. Однако чрезмерный выпас, сопровождающийся выбиванием растительного покрова животными, приводит к нарушению стабильности склонов, благоприятствуя эрозии почв, их дегумификации и уменьшению площади полезных земель, восстановление которых в условиях горного рельефа затруднительно (Dou et al., 2022; Chen et al., 2019). Несмотря на большое количество проведенных исследований, посвященных изучению содержания гумуса, его запасов, влияния факторов на их динамику в местных почвах (Махмудова, 1974; Зиямухамедов, 1970; Кузиев, 1994; Фахрутдинова, 1998; Нормуратов и др., 2018; Раупова, 2018; Раупова, Абдуллаев, 2018; Кадилова и др., 2018; Шодиева, 2018; Абдурахманов, 2019; Аскарлов и др., 2021; Рузметов, 2021; Tashkuziev, Shadieva, 2021), эта тематика остается по-прежнему актуальной, учитывая современный тренд изменения климата в регионе (Li et al., 2020). Особенный интерес вызывает проблема истощения запасов гумуса, причин и факторов дегумификации коричневых почв, которые широко распространены в средне- и низкогорьях и составляют основную часть земельного фонда страны. В связи с этим целью настоящей работы является оценка содержания гумуса, его распределения в профиле коричневых почв горных пастбищ Узбекистана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Районы и объекты исследования. Исследования проводили в семи сельскохозяйственных районах страны в период 2019-2021 гг. (табл. 1). В качестве объектов исследования выбраны коричневые почвы под горными пастбищами (Генусов и др., 1972). В соответствии с Мировой реферативной базой почвенных ресурсов (WRB, 2015) изученные почвы относятся к Cambisols и Kastanozems, наиболее эродированные варианты – к Leptosols.

Таблица 1

Географическое положение ключевых почвенных разрезов

№ разреза	Координаты		Абсолютная высота, м	Географическая привязка разреза
	северная широта	восточная долгота		
74	40°57'41''	70°46'05''	1044	Кураминский хребет, западный макросклон, вблизи поселка Чодак, склон западной экспозиции
54	39°52'21''	68°22'24''	924	Туркестанский хребет, северный макросклон, вблизи поселка Зомин, склон западной экспозиции
40	39°30'38''	66°44'11''	885	Заравшанский хребет, западный отрог, северный макросклон, вблизи поселка Сазагон, склон восточной экспозиции
66	41°35'29''	70°07'17''	1382	Западный Тянь-Шань, Коксуйский хребет, юго-западный склон, вблизи поселка Бурчмулла, склон южной экспозиции
28	40°25'47''	66°02'20''	839	Горы Нуратау (Южно-Нуратинский хребет), хребет Актау, северный макросклон вблизи поселка Чуя, склон северной экспозиции

13	39°12'54''	67°04'10''	1112	Заравшанский хребет, юго-западный отрог, западный макросклон, вблизи поселка Варганза, склон южной экспозиции
1	37°42'24''	66°44'55''	824	Гиссарский хребет, юго-западные отроги, хребет Кугитангтау, восточный макросклон, вблизи посёлка Пашхурт, склон южной экспозиции

Коричневые почвы в горах юго-востока и востока Узбекистана занимают склоны различной крутизны и экспозиции на высотах от 800–1800 м (до 2500 м) (рисунок). Почвообразующими породами выступают делювиальные и лессовидные суглинки, карбонатные породы (Почвы Узбекистана, 1975). Климатические условия отличаются резкой континентальностью, абсолютный температурный максимум +45 °С, абсолютный минимум -30 °С. Суммарная радиация в горах достигает 8350 МДж/м². Количество осадков варьирует: в предгорьях – 300–400 мм, на северных и северо-западных склонах горных хребтов достигает 600–800 мм, отчетливо выражен весенний максимум выпадения осадков, на летний период приходится минимум влаги (менее 100 мм). Устойчивый снежный покров образуется на склонах выше 800–1000 м, местами его максимальная толщина превышает полтора метра (Чуб, 2007). Растительность представлена разнотравно-дерновинно-злаковыми степями с участием пырея волосистого (*Agropyrum trichophora* (Link) Nevski), ячменя луковичного (*Hordeum bulbosum* L.), мятлики луковичного (*Poa bulbosa* L.), костра (*Bromus* sp.), прангоса высокого (*Prangos pabularia* Lindl.), ферулы (*Ferula* sp.), ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), мортука восточного (*Eremopyrum orientale* (L.) Jaub. & Spach), вьюнка шерстистого (*Convolvulus subhirsutus* Regel & Schmalh.), кузинии теневой (*Cousinia umbrosa* Bunge) и др. На сухих склонах развиты арчово-кустарниковые леса с арчой туркестанской (*Juniperus turkestanica* Kom.), жимолостью (*Lonicera* sp.), шиповником (*Rosa* sp.) (Шукуров и др., 2005). Урожайность таких сообществ низка и составляет 3-7 ц/га воздушно-сухой массы, но на некоторых участках и при благоприятных условиях может достигать 12 ц/га (Юсупов и др., 2010).



Рисунок. Горные ландшафты на коричневых почвах в южных отрогах Гиссарского хребта.

В структуре высотной поясности Западного Тянь-Шаня коричневые почвы образуют выраженный пояс: в нижней части выделяется подтип коричневых слабо выщелоченных почв, а в верхней – подтип коричневых типичных. Почвы подвержены эрозии, в связи с чем часто встречаются в разной степени эродированные разновидности. Типичный профиль коричневых почв характеризуется большой мощностью, хорошо дифференцирован на гумусо-аккумулятивный, метаморфический (срединный) и карбонатно-иллювиальный горизонты (Генусов

и др., 1972; Почвы Узбекистана, 1975). Гумусово-аккумулятивный горизонт имеет серую или темно-серую окраску с коричневым оттенком, суглинистый состав, комковато-зернистую структуру, насыщен корнями растений (дернина), карбонатные почвы вскипают от 10% соляной кислоты с поверхности. Срединный горизонт отличается коричневой окраской, глинистым гранулометрическим составом, ореховато-комковатой структурой. Карбонатный горизонт хорошо диагностируется по белесой окраске, уплотнен, содержит обильные новообразования вторичных карбонатов (белоглазка, пропитка, псевдомицелий). У сильноэродированных коричневых почв профиль нарушен до карбонатного горизонта. У средне- и слабоэродированных почв верхняя часть профиля фрагментарна, дифференциация на горизонты слабо выражена.

Методы исследования. В задачи исследования входило полевое изучение морфологических профилей коричневых почв, отбор почвенных образцов, лабораторно-аналитические работы. Полевые исследования, отбор образцов и пробоподготовка выполнены в соответствии с общепринятыми методиками (Аринушкина, 1970; Розанов, 1983). Степень эродированности почв оценивали по С.С. Соболеву (1961). В образцах определяли общее содержание органического углерода и гумуса по методу И.В. Тюрина (1937); по той же методике, в водной вытяжке, определяли водорастворимую форму – лабильный резерв гумуса. Содержание карбонатов определяли ацидиметрическим методом (Методы ..., 1963; Аринушкина, 1970), неорганического углерода – как разницу от общего содержания карбонатов. Илстые фракции выделяли с помощью центрифугирования по методу М.Ш. Шаймухомедова и К.А. Ворониной (1972).

Ключевой задачей настоящего исследования выступила оценка так называемых резервов гумуса (Ахатов, 2021). За основу взята методика расчета резервов элементов питания Н.И. Горбунова (1978). Общий резерв нами определяется как совокупность ближнего, лабильного и потенциального резерва. При этом ближним резервом выступает гумус илистой фракции (<0,001 мм), лабильным – водорастворимая (подвижная) форма гумуса (в водной вытяжке). Потенциальный резерв определяется как разница от общего резерва гумуса. Оценка резервов для изученных почв Узбекистана проведена впервые. Расчет позволяет оценить, какое количество гумуса и за счет каких резервов может убывать в процессе хозяйственного использования или деградации почв (Akhatov, Gofurov, 2019; Akhatov et al., 2020).

$$БГ = (Г_{ил} \times ИФ) / 100 \quad (1),$$

где БГ – резерв ближнего гумуса, мг/100 г;
 $G_{ил}$ – содержание гумуса в илистой фракции, мг/100 г;
 ИФ – доля илистой фракции, %.

$$ЛГ = C_{орг.} \times 1,724 \times 1000 \quad (2),$$

где ЛГ – резерв лабильного гумуса, мг/100 г;
 $C_{орг.}$ – углерод органического вещества, %;
 1,724 – коэффициент;

$$ПГ = ОГ - (БГ + ЛГ) \quad (3)$$

где ПГ – потенциальный резерв гумуса, мг/100 г;
 ОГ – общий резерв гумуса, мг/100 г;
 БГ – ближний резерв гумуса, мг/100 г;
 ЛГ – лабильный резерв гумуса, мг/100 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общее содержание гумуса в верхнем горизонте изученных коричневых почв варьирует от 1 до 6,6% (табл. 2). Тип гумуса определен как фульватный, гуматно-фульватный. Степень эродированности значительно влияет на гумусированность почв: у сильноэродированных почв наблюдается существенная дегумификация, вызванная практически полным разрушением гумусово-аккумулятивного горизонта. Среднеэродированные почвы относятся к категории мало гумусированных, содержат в среднем 2-3% гумуса, в слабой степени эродированные коричневые почвы – более гумусированы (4-5% гумуса). Полученные нами результаты согласуются с

результатами другими исследованиями (Соболев, 1961; Шодиева, 2018). Как видим, проблема предотвращения водной эрозии в горных регионах страны сохраняет свою актуальность и в настоящее время. Вертикальное распределение гумуса в изученных почвах относится к регрессивно-аккумулятивному типу (по Розанову, 1983). Максимальное количество органического вещества сосредоточено в верхнем слое мощностью 50-70 см, при этом на глубине около 1 м количество гумуса близко к 1%. В распределении гумуса отмечается влияние экспозиции: в почвах на северных и западных склонах накапливается несколько большее количество, чем на южных и восточных.

Таблица 2

Содержание углерода, гумуса и карбонатов в коричневых почвах Узбекистана

Глубина, см	Гумус, %	СО ₂ карбонатов, %	Содержание углерода в почве, %			Содержание фракции <0,001 мм, %	Гумус илистой фракции, %	С _{орг} илистой фракции, %
			С _{орг}	С _{карб} *	С _{общ}			
Разрез 74. Кураминский хребет, склон западной экспозиции, почва коричневая типичная карбонатная слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессах								
0-7	6,58	3,82	3,82	1,04	4,86	3,0	16,93	9,82
7-26	2,79	1,62	1,62	0,44	2,06	8,3	6,81	3,95
26-75	2,38	1,38	1,38	0,38	1,76	8,6	6,81	3,95
Разрез 54. Туркестанский хребет, склон западной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессах								
0-9	4,24	1,32	2,45	0,36	2,81	11,1	10,34	5,00
9-31	2,74	1,46	1,59	0,40	1,99	17,5	6,69	3,88
31-52	2,43	1,52	1,41	0,41	1,82	18,3	5,93	3,44
52-85	0,92	1,63	0,53	0,44	0,97	18,3	2,22	1,29
85-121	0,85	1,94	0,49	0,53	1,02	17,5	2,07	1,20
Разрез 40. Зеравшанский хребет, склон восточной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке								
0-7	3,68	1,15	2,13	0,31	2,44	12,7	8,96	5,20
7-11	1,50	1,48	0,87	0,40	1,27	13,5	3,65	2,12
11-27	1,27	1,96	0,74	0,53	1,27	12,7	3,12	1,81
27-50	1,03	2,02	0,59	0,55	1,14	11,9	2,52	1,46
50-80	1,03	2,69	0,59	0,73	1,32	11,1	2,52	1,46
80-160	0,95	2,70	0,55	0,74	1,29	12,7	2,31	1,34
Разрез 66. Коксуйский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая среднеэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном делювии гранитов								
0-5	2,76	1,26	1,60	0,34	1,94	5,0	6,73	3,90
5-29	1,30	1,27	0,75	0,35	1,10	5,2	3,15	1,83
29-63	1,05	1,20	0,61	0,33	0,94	3,6	2,57	1,49
63-90	0,81	1,34	0,47	0,37	0,84	4,0	1,98	1,15
90-122	0,33	2,27	0,19	0,62	0,81	2,9	0,79	0,46
Разрез 28. Южно-Нуратинский хребет, склон северной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке								
0-8	2,69	2,33	1,56	0,64	2,20	4,8	6,57	3,81
8-53	2,00	3,19	1,16	0,87	2,03	4,0	4,88	2,83
53-98	1,28	3,18	0,74	0,87	1,61	3,2	3,12	1,81
98-136	0,65	3,88	0,38	1,06	1,44	4,0	1,60	0,93
Разрез 13. Зеравшанский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая среднеэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке								
0-9	2,60	1,10	1,51	0,30	1,81	6,3	6,34	3,68
9-45	1,32	1,34	0,76	0,37	1,13	12,2	2,50	1,45
45-85	1,14	1,32	0,66	0,36	1,02	14,5	2,78	1,61
85-136	0,84	1,49	0,49	0,41	0,90	11,6	2,07	1,20
Разрез 1. Гиссарский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая эродированная малогумусированная среднесуглинистая на лессах								
0-8	1,19	1,05	0,59	0,29	0,98	12,6	2,90	1,68
8-38	1,02	1,22	0,59	0,33	0,92	13,5	2,48	1,44
40-69	1,00	2,02	0,58	0,55	1,13	14,8	2,45	1,42
69-105	0,92	1,95	0,53	0,53	1,06	16,3	2,22	1,29

Примечание. * углерод карбонатов (неорганический).

Как известно, органический (С_{орг}) и неорганический (С_{карб}) углерод составляют единый пул углерода в почве (Tan et al., 2014). В засушливых регионах доля С_{карб} часто преобладает. В более

гумидных, в верхней выщелачиваемой толще его доля ниже, а с глубиной количество увеличивается, что также может быть обусловлено влиянием карбонатных почвообразующих пород (Tan et al., 2014). В изученных нами коричневых почвах оценка содержания органического и неорганического углерода показала, что последний присутствует в количестве около 12-76% от общего углерода (см. табл. 2). При этом, вертикальный профиль $S_{\text{карб}}$ повторяет общее распределение карбонатов по глубине. Коричневые почвы слабо-, среднекарбонатны (2,5-9% в пересчете на CaCO_3). Вертикальное распределение имеет элювиальный вид с равномерным увеличением содержания вниз по профилю, либо с резким увеличением в горизонте $S_{\text{карб}}$. Почвы слабо выщелочены, в поверхностном горизонте содержание карбонатов выше 1%.

Гранулометрический состав изученных почв среднесуглинистый. Доля илистой фракции варьирует от 2,9 до 18,3% (см. табл. 2). Вертикальное распределение относительно равномерное с неясно выраженным накоплением в средней части профиля, что может быть объяснено иллювиальными процессами. В связи с тем, что илстая фракция в почвах представляет собой важное депо органического вещества (Hassink, 1997), органо-минеральные взаимодействия обуславливают сосредоточение большого количества $S_{\text{орг}}$ во фракции этой размерности (см. табл. 2), которое, как видим, гораздо выше, чем общее количество углерода почвы.

Оценка резервов гумуса показала следующее (табл. 3). Гумус лабильного резерва отождествляется нами с подвижной, активной частью гумуса (Иванов, Кудеяров, 2015). Этот гумус доступен микроорганизмам и растениям, в первую очередь удаляется из почвы при дегумификации (Иванов, Кудеяров, 2015). В изученных коричневых почвах доля гумуса лабильного резерва варьирует от 2 до 30% от общего количества гумуса и в среднем составляет 172 мг/100 г почвы. Вертикальное распределение отличается ростом доли этого резерва вниз по профилю, при этом такой профиль сходен во всех исследованных разрезах, независимо от экспозиции склонов и степени эродированности почвы, что может быть объяснено миграцией подвижного водорастворимого гумуса в однородном по гранулометрическому составу профиле и слабощелочной среде.

Гумус ближнего резерва выделен из илистой фракции $<0,001$ мм и отождествляется нами с инертным пассивным гумусом (Иванов, Кудеяров, 2015). Этот гумус недоступен для микроорганизмов, однако при длительном нерациональном использовании почв может пополнять запасы лабильного гумуса (при их истощении), что вызывает деградацию почв (Бойцова, Пухальский, 2013). Его количество колеблется от 7 до 62% от общего содержания гумуса (см. табл. 3). Максимальное накопление ближнего резерва отмечается в гумусовом горизонте коричневых почв разреза 40 на Зеравшанском хребте (47%), минимальное – в разрезе 74 на расположенном севернее Кураминском хребте (7,7%). Внутрипрофильное распределение гумуса ближнего резерва характеризуется выраженным накоплением в нижней части гумусового и верхней части метаморфического горизонта (ниже 10 см), при этом самый верхний слой мощностью 0-10 см, где в травянистых экосистемах обычно сосредоточен максимум корней, заметно обеднен гумусом этого резерва. В сильноэродированной почве (разрез 1) распределение его по профилю равномерное (см. табл. 3). Экспозиционные различия в распределении гумуса резерва в некоторой степени размыты, вероятно, по причине эродированности почв.

Гумус потенциального (скрытого) резерва представляет собой грубую форму (поог), содержащую большое число неразложившихся растительных остатков, экскременты беспозвоночных (Дюшофур, 1965; Galvan et al., 2005). За счет этого резерва могут пополняться запасы лабильного резерва в ходе процессов гумусообразования. В то же время, этот резерв может истощаться за счет активизации процессов минерализации при изменении условий. В изученных коричневых почвах потенциальный резерв гумуса является доминирующим в общем содержании гумуса и колеблется по профилю от 32 до 90% (см. табл. 3). Вертикальное распределение гумуса неоднородное. В разрезах 1, 54, 74 наблюдается снижение содержания гумуса потенциального резерва вниз по профилю. В разрезах 40, 66, 13 выявлена обратная ситуация – накопление гумуса потенциального резерва в метаморфическом и карбонатном горизонтах. Максимальная доля гумуса потенциального резерва в гумусовом горизонте коричневых почв зафиксирована в разрезе 74 (до 90% от общего количества гумуса), минимальная – в разрезе 1 (50,7%) (см. табл. 3). В распределении гумуса потенциального резерва отчетливо проявляются экспозиционные различия: в почвах северных и западных (наиболее увлажняемых) склонов его доля выше, чем в почвах южных и восточных склонов. Однако различия в значительной мере нивелируются влиянием эрозии.

Гумус резервов в коричневых почвах горных пастбищ Узбекистана

Глубина, см	Гумус, %	Гумус резерва, мг/100 г			Гумус резерва, %		
		лабильного	ближнего	потенциального	лабильного	ближнего	потенциального
Разрез 74. Кураминский хребет, склон западной экспозиции, почва коричневая типичная карбонатная слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессах							
0-7	6,58	172	508	5900	2,6	7,7	89,7
7-26	2,79	172	565	2055	6,2	20,2	73,6
26-75	2,38	172	500	1707	7,3	21	71,7
Разрез 54. Туркестанский хребет, склон западной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессах							
0-9	4,24	172	1148	2920	4,1	27,1	68,8
9-31	2,74	172	1171	1398	6,3	42,7	51
31-52	2,43	171	1086	1257	7	44,7	48,3
52-85	0,92	172	407	334	18,8	44,6	36,6
85-126	0,85	181	362	302	21,4	42,8	35,8
Разрез 40. Зеравшанский хребет, склон восточной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке							
0-7	3,68	172	1138	2362	4,7	31	64,3
7-11	1,50	172	493	834	11,5	32,8	55,7
11-27	1,27	172	397	707	13,5	31,1	55,4
27-50	1,03	171	300	564	16,5	29	54,5
50-80	1,03	172	279	583	16,6	27	56,4
80-160	0,95	150	293	505	15,8	30,9	53,3
Разрез 66. Коксуйский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая среднеэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном делювии гранитов							
0-5	2,76	172	336	2250	6,2	12,2	81,6
5-29	1,30	174	165	955	13,4	12,7	73,9
29-63	1,05	172	93	786	16,3	8,8	74,9
63-90	0,81	172	79	551	21,4	9,8	68,8
90-122	0,33	100	23	207	30,3	7	62,7
Разрез 28. Южно-Нурагинский хребет, склон северной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке							
0-8	2,69	172	315	2003	6,9	12,6	80,5
8-53	2,00	172	195	1632	8,6	9,7	81,7
53-98	1,28	172	100	1003	13,5	7,8	78,7
98-136	0,65	172	64	419	26,3	9,7	64
Разрез 13. Зеравшанский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая среднеэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке							
0-9	2,60	172	2003	2031	4,1	47,6	48,3
9-45	1,32	172	1632	843	6,5	61,6	31,9
45-85	1,14	172	1003	566	9,9	57,6	32,5
85-130	0,84	172	419	433	16,8	40,9	42,3
Разрез 1. Гиссарский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая эродированная малогумусированная среднесуглинистая на лессах							
0-8	1,19	172	365	652	15,8	33,5	50,7
8-40	1,02	172	334	510	16,9	32,9	50,2
40-70	1,00	172	362	466	17,2	36,2	46,6
70-105	0,92	172	362	379	18,8	39,6	41,5

Также нами были определены труднорастворимые и нерастворимые (битум, дубильные вещества, воскосмола и др.) органические вещества в составе гумуса потенциального резерва и в общем содержании гумуса (Орлов, 1974) (табл. 4). В изученных коричневых почвах выявлено широкое варьирование доли как нерастворимых (0,39-86%), так и труднорастворимых веществ (3-100%). Выделяются разрезы 54 и 1, в нижних горизонтах которых нерастворимое органическое вещество аналитически не обнаружено, а содержание труднорастворимого достигает 100%. В остальных разрезах наблюдается постепенное снижение доли нерастворимого вещества с глубиной и накопление труднорастворимого в нижних горизонтах. Возможно, накопление происходит за счет уменьшения содержания разлагающегося в анаэробных условиях нерастворимого органического вещества. Кроме того, на соотношение и распределение рассматриваемых фракций гумуса оказывает влияние эрозия. В гумусово-аккумулятивном горизонте разреза 1 сильноэродированной почвы доля нерастворимых веществ менее 10%, а труднорастворимых – более 40%. При этом в ненарушенном гумусово-аккумулятивном горизонте разреза 74 содержится максимальная доля нерастворимых органических веществ (86,6%) и, наряду

с этим, наиболее низкая доля труднорастворимых веществ (3,4%) (см. табл. 4). В целом, чем сильнее нарушенность верхней части профиля эрозионными процессами, тем ниже доля нерастворимых веществ. В то же время, влияния экспозиции склонов на соотношение фракций не выявлено.

Таблица 4

Растворимые и нерастворимые органические вещества в составе гумуса коричневых почв горных пастбищ Узбекистана

Глубина, см	Гумус, %	Органическое вещество в составе потенциального резерва, %		Доля органического вещества, % от общего содержания гумуса	
		т/раств.	н/раств.	т/раств.	н/раств.
Разрез 74. Кураминский хребет, склон западной экспозиции, почва коричневая типичная карбонатная слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессах					
0-7	6,6	16,7	83,3	3,4	86,6
7-26	2,8	35,9	64,1	47,2	0
26-75	2,4	39,4	60,6	43,5	0
Разрез 54. Туркестанский хребет, склон западной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессах					
0-9	4,2	45,2	54,8	31,1	37,7
9-31	2,7	96,1	3,9	49,0	2,0
31-52	2,4	100	0	100	0
52-85	0,9	100	0	100	0
85-126	0,8	100	0	100	0
Разрез 40. Зеравшанский хребет, склон восточной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке					
0-7	3,7	55,5	44,5	35,6	28,6
7-11	1,5	79,7	20,3	44,3	11,3
11-27	1,3	80,5	19,5	44,8	10,9
27-50	1,0	83,5	16,5	45,7	9,0
50-80	1,0	77,4	22,6	43,8	12,8
80-160	0,9	87,7	12,3	46,6	6,5
Разрез 66. Коксуйский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая среднеэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном деловии гранитов					
0-5	2,8	22,6	77,4	18,4	63,1
5-29	1,3	35,5	64,5	26,1	47,4
29-63	1,0	39,6	66,4	25,1	49,7
63-90	0,8	45,5	54,5	31,0	37,0
90-122	0,3	59,4	40,6	37,3	25,4
Разрез 28. Южно-Нуратинский хребет, склон северной экспозиции, почва коричневая слабоэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке					
0-8	2,7	24,3	75,7	18,1	56,4
8-53	2,0	22,5	77,5	18,3	63,2
53-98	1,3	27,1	72,9	21,2	57,1
98-136	0,6	56,3	43,7	36,3	27,8
Разрез 13. Зеравшанский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая среднеэродированная среднегумусированная среднесуглинистая на лессовидном суглинке					
0-9	2,6	28,2	71,8	22,0	56,1
9-45	1,3	75,3	24,7	42,8	14,9
45-85	1,1	75,9	24,0	37,7	11,9
85-130	0,8	95,1	4,8	49,0	2,5
Разрез 1. Гиссарский хребет, склон южной экспозиции, почва коричневая эродированная малогумусированная среднесуглинистая на лессах					
0-8	1,2	82,2	17,8	45,2	9,7
8-40	1,0	98,4	1,6	49,0	0,4
40-70	1,0	100	0	100	0
70-105	0,9	100	0	100	0

Примечание. т/раств. и н/раств. – труднорастворимые и нерастворимые органические вещества.

Таким образом, внутрипрофильное и экспозиционное распределение общего гумуса коричневых почв, гумуса резервов, а также его фракций обусловлено как особенностями гумусообразования, так и эрозионными процессами. Протекающие в общих благоприятных условиях процессы гумусообразования способствовали накоплению в верхнем горизонте почв до 6% гумуса, отмечается глубокая гумусированность профиля. Однако оценка резервов показала, что лабильный гумус – наиболее активная часть органического вещества почв – составляет менее 20% от общего содержания, при этом преобладает гумус потенциального резерва. Таким образом,

процессы эрозии вызывают дегумификацию коричневых почв за счет уменьшения доли гумуса лабильного резерва. Возможности восстановления этого резерва за счет резервов ближнего гумуса относительно невелики и при сохраняющемся размыве почв водными потоками снижаются до минимума. Кроме того, эродированность почв затушевывает картину экспозиционного распределения гумуса, снижая общее разнообразие и пестроту почвенного покрова горных склонов. Так же сильно эродированные почвы утрачивают способность депонировать углерод и теряют его часть, закрепленную в гумусе, за счет вымывания, растворения и минерализации. Как видим, проблема эрозионного воздействия на почвы в регионе стоит достаточно остро. Как мы указали выше, проявление эрозии на склонах усугубляется интенсивным хозяйственным использованием. Регулярный выпас скота препятствует восстановлению растительного покрова и задернению поверхности почв. Дальнейшее изучение особенностей гумуса, его накопления и восстановления в коричневых почвах имеет важное значение для разработки рекомендаций по рациональному использованию, противоэрозионной защите и увеличению продуктивности горных пастбищ Узбекистана.

ВЫВОДЫ

1. Изученные коричневые почвы горных пастбищ Узбекистана характеризуются суглинистым гранулометрическим составом с долей илистой фракции не превышающей 20%. Содержание карбонатов невелико (2,5–9%). Общее содержание гумуса в коричневых почвах колеблется в широких пределах от 1 до 6,6%. Вертикальное распределение гумуса в ненарушенных эрозией почвах имеет регрессивно-аккумулятивный характер. На северных и западных склонах в почвах содержится больше гумуса, чем на южных и восточных.
2. Гумус лабильного резерва составляет менее трети от общего содержания гумуса, при этом гумус потенциального резерва преобладает. Дегумификация коричневых почв происходит главным образом за счет вымывания гумуса лабильного резерва, этот процесс протекает активнее на южных, менее задернованных склонах.
3. Содержание нерастворимых и труднорастворимых веществ в коричневых почвах неоднородно. На их дифференциацию в профиле оказывает влияние эрозия: чем сильнее эродированность почв, тем меньше содержание нерастворимых веществ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Научно-исследовательского института окружающей среды и технологий охраны окружающей среды при Государственном комитете Республики Узбекистан по экологии и охране окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев У.В., Хасанханова Г.М., Ибрагимов Р., Таряникова Р.В., Панкова Е.И. *Опыт применения подходов и методов ФАО для восстановления продуктивности деградированных земель и устойчивого землепользования в Узбекистане* // Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья. Рим: ФАО, 2016. Ч. 2. С. 229–247. <https://istina.msu.ru/workers/53596421/>
2. Абдурахманов Н.Ю. *Сугориладиган ва лалми тупроқлар унимдорлигини баҳолашининг илмий асослари*. Автореф. дисс. ... к.б.н. Ташкент, 2019. 69 с.
3. Аринушкина Е.В. *Руководство по химическому анализу почв*. Москва: МГУ, 1970. 487 с.
4. Аскарлов Х.Х., Юлдашев Г., Маруфжонов А.М. Гумус, органический и минеральный углерод в орошаемых луговых сазовых почвах // *Central Asian journal of theoretical and applied sciences*. 2021. 2 (12). P. 374–379. <https://cajotas.centralasianstudies.org/index.php/CAJOTAS/article/view/365>
5. Ахатов А. *Гумус ва унинг резерв шакллари*. Тошкент: Наврўз, 2021. 118 с.
6. Бойцова Л.В., Пухальский Я.В. Динамика содержания органического вещества, его лабильной и инертной части в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени окультуренности // *Агрофизика*. 2013. № 2 (10). С. 14–22.
7. Генусов А.З., Горбунов Б.В., Кимберг Н.В. *Классификация и диагностика почв Узбекистана*. В кн.: Генезис, география и мелиорация почв Узбекистана. Ташкент, 1972, С. 3–49.
8. Горбунов Н.И. *Минералогия и физическая химия почв*. Москва: Наука, 1978. 292 с.
9. Дюшофур Ф. *Основы почвоведения*. Изд. 2, Париж, 1965. 614 с.
10. Закон Республики Узбекистан, № ЗРУ–538, 20.05.2019 г. «О пастбищах».
11. Зиямухамедов И.А. Содержание и состав органического вещества некоторых целинных и орошаемых почв Узбекистана // *Доклады Высшей школы. Биологические науки*. 1970. № 1. С. 68–73.
12. Иванов И.В., Кудеяров В.Н. *Эволюция почв и почвенного покрова*. Москва: Геос, 2015. 928 с.

13. Кадирова Д.А., Забиров Ф.М., Ананова К.К. Морфогенез почв среднегорий южных отрогов Гиссарского хребта и влияние на них эрозионных процессов // *Science Review. March 2018. Vol. 3 (10). P. 17–20.* <https://www.academia.edu/36403019>
14. Кузиев Р.К. *Орошаемые почвы сероземного пояса Узбекистана, их экологическое состояние и плодородие.* Автореф. дисс. ... д.б.н. Ташкент: ГосНИИПА, 1994. 34 с.
15. Кузиев Р.К., Гафурова Л.А., Абдрахмонов Т.А. *Почвенные ресурсы Узбекистана и вопросы продовольственной безопасности* // *Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья.* Рим: ФАО, 2016. Ч. 2. С. 75–128. http://www.cawater-info.net/bk/land_law/files/a-i5914b.pdf
16. Махмудова Д.Г. *Гумусообразование в основных почвах Каршинской степи.* Автореф. дисс. ... к.с.-х.н. Ташкент, 1974. 24 с.
17. *Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в полевых хлопковых районах.* Ташкент: СоюзНИХИ, 1963. 440 с.
18. Нормуратов О.У., Закиров Х.Х., Чориева Ш.К., Нуруллаев А.К., Абдурахмонова Ю.М., Боллиев А.Т. Почвенно-климатические условия Сурхандарии // *Universum: Химия и биология.* 2018. № 6 (48). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/5948> (дата обращения: 01.03.2022).
19. Орлов Д.С. *Гумусовые кислоты почв.* Москва: МГУ, 1974. 333 с.
20. *Почвы Узбекистана.* Ташкент: ФАН, 1975. 222 с.
21. Раупова Н.Б. Групповой и фракционный состав гумуса горно-коричневых выщелоченных почв // *Ташкент Ўзбекистон аграр фани хабарномаси.* 2018. № 1 (71). С. 117–120. URL: <http://agriculture.uz/filesarchive/AgrarJournal12018.pdf#page=117> (дата обращения: 01.03.2022).
22. Раупова Н.Б., Абдуллаев С.А. Горно-коричневые карбонатные почвы Западного Тянь-Шаня, их агрохимические свойства и гумусное состояние // *Бюллетень науки и практики.* 2018. Т. 4. № 2. С. 153–161. DOI: [10.5281/zenodo.1173148](https://doi.org/10.5281/zenodo.1173148).
23. Розанов Б. Г. *Морфология почв.* Москва: МГУ, 1983. 320 с.
24. Рузметов М.И. *Ўзбекистон яйловлари ва тоғ жигарранг тупрокларининг ҳозирги ҳолати* // *Land of Uzbekistan, Tashkent.* 2021. № 2. С. 28–37.
25. Соболев С.С. *Защита почв от эрозии и повышение их плодородия.* Москва: Сельхозиздат, 1961. 231 с.
26. Стратегия развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы. Указ Президента Республики Узбекистан, от 23.10.2019 г. № УП-5853.
27. Тюрин И.В. *Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии: учение о почвенном гумусе.* Москва: Сельхозгиз, 1937. 289 с.
28. Фахрутдинова М.Ф. *Почвы северной части Туркестанского хребта (например почв Зааминского заповедника).* Автореф. дисс. ... к.б.н. Ташкент, 1998. 16 с.
29. Чуб В.Е. *Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан.* Ташкент: НИГМИ, 2007. 132 с.
30. Шаймухамедов М.Ш., Воронина К.А. Методика фракционирования органо-глинных комплексов почв с помощью лабораторных центрифуг // *Почвоведение.* 1972. № 8. С. 134–138.
31. Шодиева Н.И. *Гумусное состояние почв вертикальной зональности, изучение процесса механизма формирования гумусовых веществ (на примере Туркестанского горного хребта).* Автореф. дисс. ... д.б.н. Ташкент, 2018. 27 с.
32. Шукуров Э.Д., Митропольский О.В., Тальских В.Н., Жолдубаева Л.Ы., Шевченко В.В. *Атлас биологического разнообразия Западного Тянь-Шаня.* Бишкек, 2005. 105 с.
33. Юсупов С., Мукимов Т., Хамраев А. *Стратегия управления пастбищным животноводством Узбекистана.* Сборник материалов «Проблемы и пути решения устойчивого использования пастбищных ресурсов». Казахстан, Астана, 2010. С. 106–113.
34. Akhatov A., Gafurov B. Distribution of forms of humus reserves in the soils of spreaded sierozem zones // *Sustainable Agriculture Journal.* 2019. № 3-4 (4). P. 4–6. [http://sa.ttiame.uz/storage/web/source/1/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2/3-4\(4\)2019.pdf](http://sa.ttiame.uz/storage/web/source/1/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2/3-4(4)2019.pdf)
35. Akhatov A., Gafurov B., Jakhonov A., Khalimbetov A. *Distribution of the forms of reserves of humus in typical serozems formed in geomorphological areas Tashkent-Keles.* In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 869. No. 4. p. 042018). 2020. IOP Publishing. DOI: [10.1088/1757-899X/869/4/042018](https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/4/042018)
36. Chen T., Bao A., Jiapaer G., Guo H., Zheng G., Jiang L., Chang C., Tuerhanjianget L. Disentangling the relative impacts of climate change and human activities on arid and semiarid grasslands in Central Asia during 1982–2015 // *Science of the Total Environment.* 2019. Vol. 653. P. 1311–1325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.058>
37. Chen T., Tang G., Yuan Y., Guo H., Xu Z., Jiang G., Chen X. Unraveling the relative impacts of climate change and human activities on grassland productivity in Central Asia over last three decades // *Science of the Total Environment.* 2020. Vol. 743. P. 140649. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140649>
38. Davidson E.A., Ackerman I.L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils // *Biogeochemistry.* 1993. 20. P. 161–193. <https://doi.org/10.1007/BF00000786>
39. Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicsek D.F., Stewart B.A. Defining soil quality for a sustainable environment // *Soil Science Society of America Journal.* 1994. Vol. 35. P. 3–21. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35>

40. Dou X., Ma X., Zhao C., Li J., Yan Y., Zhu J. Risk assessment of soil erosion in Central Asia under global warming // *Catena*. 2022. Vol. 212. P. 106056. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106056>
41. Franzluebbers A. Root-zone soil organic carbon enrichment is sensitive to land management across soil types and regions // *Soil Science Society of America Journal*. 2022. 86. P. 79–90. <https://doi.org/10.1002/saj2.20346>
42. Galvan P., Ponge J-F., Scattolin L., Franco V., Augusto Z. *Le forme di humus e la pedofauna: interpretazione delle interrelazioni e chiavi di riconoscimento*. Sherwood. 2005. 112. P. 33–39. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00496568/document>
43. Guo L. B., Gifford R.M. Soil carbon stocks and land use change: A metaanalysis // *Global Change Biology*. 2002. 8. P. 345–360. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
44. Haddaway N.R., Hedlund K., Jackson L.E., Kätterer T., Lugato E., Thomsen I K., Jørgensen H.B., Isberg P.-E. How does tillage intensity affect soil organic carbon? // *A systematic review. Environmental Evidence*. 2017. 6. P. 30. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>
45. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles // *Plant and Soil*. 1997. Vol. 1(191). P. 77–87. <https://doi.org/10.1023/A:1004213929699>
46. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports. № 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.
47. Lehmann J., Bossio D.A., Kogel-Knabner I., Rillig M.C. The concept and future prospects of soil health // *Nature Reviews Earth & Environment*. 2020. 1. P. 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
48. Li J., Chen H., Zhang C. Impacts of climate change on key soil ecosystem services and interactions in Central Asia // *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 116. P. 106490. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106490>
49. Mann L.K. Changes in soil carbon storage after cultivation // *Soil Science*. 1986. 142. P. 279–288. <https://doi.org/10.1097/00010694-198611000-00006>
50. Tan W., Zang R., Cao H., et al. Soil inorganic carbon stock under different soil types and land uses on the Loess Plateau region of China // *Catena*. 2014. Vol. 121. P. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.014>
51. Tashkuziev M., Shadieva N. Conditions and factors of humus formation in soils of mountain and foothill // *TPACEE-2021: E3S Web of Conferences* 284, 02008. 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20212840200>

Поступила в редакцию 21.03.2022

Принята 25.08.2022

Опубликована 25.08.2022

Сведения об авторах:

Ахатов Абдусамат – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории «Защита водных и земельных ресурсов» Научно-исследовательского института окружающей среды и природоохранных технологий при Государственном комитете Республики Узбекистан по экологии и охране окружающей среды (г. Ташкент, Узбекистан); ekologiya58@mail.ru

Бурiev Салимжан Самеджанович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор Научно-исследовательского института окружающей среды и природоохранных технологий при Государственном комитете Республики Узбекистан по экологии и охране окружающей среды (г. Ташкент, Узбекистан); eco_nii@uznature.uz

Нурматова Виктория Борисовна – младший научный сотрудник лаборатории «Защита водных и земельных ресурсов» Научно-исследовательского института окружающей среды и природоохранных технологий при Государственном комитете Республики Узбекистан по экологии и охране окружающей среды (г. Ташкент, Узбекистан); nurmatoffkennel@gmail.com

Жураев Ганишер Абдиназарович – младший научный сотрудник лаборатории «Защита водных и земельных ресурсов» Научно-исследовательского института окружающей среды и природоохранных технологий при Государственном комитете Республики Узбекистан по экологии и охране окружающей среды (г. Ташкент, Узбекистан); Ganisher73@yahoo.com

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

HUMUS IN THE BROWN SOILS OF THE MOUNTAIN PASTURES OF UZBEKISTAN

© 2022 A. Akhatov , S. S. Buriev , V. B. Nurmatova , G. A. Juraev 

Research Institute of Environment and Environmental Protection Technologies at the State Committee for Ecology and Environment Protection of the Republic of Uzbekistan

E-mail: nurmatoffkennel@gmail.com

The aim of the study: assessment of humus content and its distribution in the profile of brown soils of mountain pastures in Uzbekistan.

Location and time of the study. Soil pits were cut in the Republic of Uzbekistan in seven agricultural regions, widely used in agriculture: Tashkent region, Bustonlik district; Jizzakh region, Zomin district; Samarkand region, Nurabad district; Navoi region, Nurata district; Kashkadarya region, Kitab district; Surkhandarya region, Sherabad district; Namangan region, Papal district. The study was carried out in 2019-2021.

Methods. Field studies, sampling and sample preparation were carried out in accordance with the generally accepted methods: soil organic carbon content was measured by bichromate digestion, carbonate content was determined by acidimetric method and soil inorganic carbon content was calculated by subtracting from the total content of carbonates. Silty fractions were isolated by centrifugation. Humus differentiation into reserves and their estimation was carried out according to the method proposed by one of the authors.

Main results. The studied brown soils of mountain pastures of Uzbekistan are characterized by loamy granulometric composition, with a clay fraction not exceeding 20%. The content of carbonates is low (2.5–9%), with the maximum amount in the carbonate horizon. Soils are slightly leached. The total humus content in the upper horizon varies from 1% to 6.6%. The dependence of soil humus content on the slope exposure was noted: the soils of the more humid northern and western slopes contain more humus than the southern and eastern ones. In addition, the humus content is significantly affected by erosion. To assess the nature of changes in the organic matter of the brown soils during their agricultural use, humus of the near, labile and potential reserves (as percentage of the total content) was isolated for the first time. It was revealed that humus of potential reserve prevails in soils (35.5-90%). Its vertical distribution is characterized by a sharp decrease in the sub-humus part, while the humus of the near and labile reserves is distributed evenly in the profile, without a pronounced dependence on external conditions and the degree of disturbance. The proportion of insoluble organic substances in the total humus content ranged from 0.39 to 86%, of sparingly soluble organic substances - from 3 to 100%. There is a relationship between the amount of sparingly soluble and insoluble organic matter in the upper horizon and the degree of soil erosion.

Conclusion. The distribution of humus and its reserves in the brown soils of the mountain pastures of Uzbekistan is uneven and strongly affected by erosion. The loss of near and labile humus reserves leads to a decrease in the content of total humus. Further study of humus features, humus accumulation and restoration in brown soils is important for the development of recommendations for the rational use, anti-erosion protection and increasing the productivity of mountain pastures in Uzbekistan.

Key words: mountain brown soils; humus reserves; carbonates, silty fractions; organic matter; sustainable land use

Citation: Akhatov A., Buriev S.S., Nurmatova V.B., Zhuraev G.A. Humus of the brown soils of the mountain pastures of Uzbekistan // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(3). e174. DOI: [10.31251/pos.v5i3.174](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.174) (in Russian with English abstract)

REFERENCES

1. Abdullaev U.V., Khasankhanova G.M., Ibragimov R., Taryanikova R.V., Pankova E.I. *Experience in applying FAO approaches and methods to restore the productivity of degraded lands and sustainable land use in Uzbekistan*. Land resources and food security in Central Asia and Transcaucasia. Rome: FAO, 2016, Part 2, p. 229–247. <https://istina.msu.ru/workers/53596421/>
2. Abdurahmanov N.Yu. *Scientific bases of assessment of fertility of irrigated and dry soils*. Abstract diss. of the Cand. of Biol. Sci. Tashkent, 2019, 69 p. (in Uzbekistan)
3. Arinushkina E.V. *Procedures for soil analysis*. Moscow: Moscow State University press, 1970, 487 p. (in Russian)
4. Askarov Kh.Kh., Yuldashev G., Marufjonov A.M. Humus, organic and mineral carbon in irrigated meadow-saz soils, *Central Asian journal of theoretical and applied sciences*, 2021, No. 2 (12), p. 374–379. <https://www.academia.edu/36403019>
5. Akhatov A. *Humus and its reserve forms*. Tashkent: Navruz, 2021, 118 p. (in Uzbekistan)

6. Boitsova L.V. Puhalsky Ya.V. Dynamics of total organic matter content and mobile and inert forms of soil organic matter in loamy-sand spodosol with different levels of fertility, *Agrophysics Journal*, 2013, No. 2 (10), p. 14–22 (in Russian)
7. Genusov A.Z., Gorbunov B.V., Kimberg N.V. *Classification and diagnostics of soils in Uzbekistan*. In the book: Genesis, geography and melioration of soils in Uzbekistan. Tashkent, 1972, p. 3–49. (in Russian)
8. Gorbunov N.I. *Mineralogy and physical chemistry of soils*. Moscow: Nauka, 1978, 292 p. (in Russian)
9. Dushofur F. *Fundamentals of soil science*. Ed. 2, Paris, 1965, 614 p.
10. Law of the Republic of Uzbekistan, No. ZRU-538, 05/20/2019 "About pastures".
11. Ziyamukhamedov I.A. The content and composition of organic matter in some virgin and irrigated soils of Uzbekistan. *Report High school. Moscow: Biological Sciences*, 1970, No. 1, p. 68–73. (in Russian)
12. Ivanov I.V., Kudayarov V.N. *Evolution of soils and soil cover*. Moscow: Geos, 2015, 928 p. (in Russian)
13. Kadirova D.A., Zabiroy F.M., Ananova K.K. Morphogenesis of soils in the middle mountains of the southern spurs of the Gissar Range and the influence of erosion processes on them, *Science Review*, March 2018, Vol. 3 (10), p. 17–20. <https://www.academia.edu/36403019> (in Russian)
14. Kuziev R.K. *Irrigated soils of the gray earth belt of Uzbekistan, their ecological state and fertility*. Abstract diss. of the Dr. of Biol. Sci. Tashkent: GosNIIPA, 1994, 34 p. (in Russian)
15. Kuziev R.K., Gafurova L.A., Abdrakhmonov T.A. *Soil resources of Uzbekistan and the issues of food security*. Land resources and food security of Central Asia and Southern Caucasus. Rome: FAO, 2016. P.2. P. 75-128. http://www.cawater-info.net/bk/land_law/files/a-i5914b.pdf (in Russian)
16. Makhmudova D.G. *Humus formation in the main soils of the Karshi steppe*. Abstract diss. of the Cand. of Agric. Sci. Tashkent, 1974, 24 p. (in Russian)
17. *Methods of agrochemical, agrophysical and microbiological research in the field of cotton*. Tashkent: Soyuz NIXI, 1963, 440 p. (in Russian)
18. Normuratov O., Zakirov H., Chorjeva Sh., Nurullayev A., Abdurahmonova Yu., Bollyev A. Soil-climatic conditions of Surchandarium, *Universum: Chemistry and Biology*, 2018, No. 6 (48). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/5948> (accessed on 01/03/2022). (in Russian)
19. Orlov D.S. *Soil humic acids*. Moscow: MGU, 1974, 333 p. (in Russian)
20. *Soils of Uzbekistan*. Tashkent: FAN, 1975, 222 p. (in Russian)
21. Raupova N.B. Group and fractional composition of humus in mountain brown leached soils. *Tashkent Uzbekiston Agrarian Fani Khabarnomasi*, 2018, No. 1 (71), p. 117–120. URL: <http://agriculture.uz/filesarchive/AgrarJournal12018.pdf#page=117> (accessed on 01.03.2022). (in Uzbekistan)
22. Raupova N.B., Abdullaev S.A. Mineral-brown carbonate soils of Western Tian Shan, their agrochemical properties and humus condition, *Bulletin of Science and Practice*, 2018, Vol. 4, No. 2, p. 153–161. DOI: [10.5281/zenodo.1173148](https://doi.org/10.5281/zenodo.1173148). (in Russian)
23. Rozanov B. G. *Morphology of soils*. Moscow: Moscow State University, 1983, 320 p. (in Russian)
24. Ruzmetov M.I. Current state of pastures and mountain brown soils of Uzbekistan, *Land of Uzbekistan*, Tashkent. 2021, 2, p. 28–37. (in Uzbekistan)
25. Sobolev S.S. *Protection of soils from erosion and increase of their fertility*. Moscow: Selkhozizdat, 1961, 231 p. (in Russian)
26. Agriculture Development Strategy of the Republic of Uzbekistan for 2020-2030: Decree of the President of the Republic of Uzbekistan, dated October 23, 2019 No. UP-5853. (in Uzbekistan)
27. Tyurin I.V. *Soil organic matter and its role in soil formation and fertility: the study of soil humus*. Moscow: Selkhozgiz, 1937, 289 p. (in Russian)
28. Fakhruddinova M.F. *Soils of the northern part of the Turkestan Range (for example, the soils of the Zaamin Reserve)*. Abstract diss. of the Cand. of Biol. Sci. Tashkent: GosNIIPA, 1998, 28 p. (in Russian)
29. Chub V.E. *Climate change and its impact on hydrometeorological processes, agro-climatic and water resources of the Republic of Uzbekistan*. Tashkent: NIGMI, 2007, 132 p.
30. Shaimukhamedov M.Sh., Voronina K.A. Method of fractionation of organo-clay soil complexes using laboratory centrifuges, *Soil science*, 1972, No. 8, p. 134–138. (in Russian)
31. Shodieva N.I. *The humus state of soils of vertical zonality, the study of the process of the mechanism of formation of humus substances (on the example of the Turkestan mountain range)*. Abstract diss. of the Dr. of Biol. Sci. Tashkent, 2018, 27 p. (in Russian)
32. Shukurov E.D., Mitropolsky O.V., Talsku V.N., Zholdubaeva L.I., Shevchenko V.V. *The atlas of biological diversity of Western Tan-Shan*. Bishkek, 2005. 105 p.
33. Yusupov, S., Mukimov T., Khamraev A. *Pasture management strategy in Uzbekistan*. Collection of materials "Problems and solutions for the sustainable use of pasture resources", Kazakhstan, Astana, 2010, p. 106-113.
34. Akhatov A., Gafurov B. Distribution of forms of humus reserves in the soils of spreaded sierozem zones, *Sustainable Agriculture Journal*, 2019, No. 3-4 (4), p. 4–6. [http://sa.ttiame.uz/storage/web/source/1/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2/3-4\(4\)2019.pdf](http://sa.ttiame.uz/storage/web/source/1/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2/3-4(4)2019.pdf)
35. Akhatov A., Gafurov B., Jakhonov A., Khalimbetov A. *Distribution of the forms of reserves of humus in typical seroems formed in geomorphological areas Tashkent-Keles*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 869, No. 4, p. 042018), 2020. IOP Publishing. DOI: [10.1088/1757-899X/869/4/042018](https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/4/042018)

36. Chen T., Bao A., Jiapaer G., Guo H., Zheng G., Jiang L., Chang C., Tuerhanjanget L. Disentangling the relative impacts of climate change and human activities on arid and semiarid grasslands in Central Asia during 1982–2015, *Science of the Total Environment*, 2019, Vol. 653, p. 1311–1325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.058>
37. Chen T., Tang G., Yuan Y., Guo H., Xu Z., Jiang G., Chen X. Unraveling the relative impacts of climate change and human activities on grassland productivity in Central Asia over last three decades, *Science of the Total Environment*, 2020, Vol. 743, p. 140649. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140649>
38. Davidson E.A., Ackerman I.L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils, *Biogeochemistry*, 1993, 20, p. 161–193. <https://doi.org/10.1007/BF00000786>
39. Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. Defining soil quality for a sustainable environment, *Soil Science Society of America Journal*, 1994, Vol. 35, p. 3–21. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35>
40. Dou X., Ma X., Zhao C., Li J., Yan Y., Zhu J. Risk assessment of soil erosion in Central Asia under global warming, *Catena*, 2022, Vol. 212, p. 106056. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106056>
41. Franzluebbers A. Root-zone soil organic carbon enrichment is sensitive to land management across soil types and regions, *Soil Science Society of America Journal*, 2022, 86, p. 79–90. <https://doi.org/10.1002/saj2.20346>
42. Galvan P., Ponge J-F., Scattolin L., Franco V., Augusto Z. *Le forme di humus e la pedofauna: interpretazione delle interrelazioni e chiavi di riconoscimento*. Sherwood, 2005, 112, p. 33–39. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00496568/document>
43. Guo L. B., Gifford R.M. Soil carbon stocks and land use change: A metaanalysis, *Global Change Biology*, 2002, 8, p. 345–360. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
44. Haddaway N.R., Hedlund K., Jackson L.E., Kätterer T., Lugato E., Thomsen I K., Jørgensen H.B., Isberg P.-E. How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 2017, 6, p. 30. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>
45. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles, *Plant and Soil*, 1997, Vol. 1 (191), p. 77–87. <https://doi.org/10.1023/A:1004213929699>
46. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports. № 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.
47. Lehmann J., Bossio D.A., Kogel-Knabner I., Rillig M.C. The concept and future prospects of soil health, *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020, 1, p. 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
48. Li J., Chen H., Zhang C. Impacts of climate change on key soil ecosystem services and interactions in Central Asia, *Ecological Indicators*, 2020, Vol. 116, p. 106490. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106490>
49. Mann L.K. Changes in soil carbon storage after cultivation, *Soil Science*, 1986, 142, p. 279–288. <https://doi.org/10.1097/00010694-198611000-00006>
50. Tan W., Zang R., Cao H., et al. Soil inorganic carbon stock under different soil types and land uses on the Loess Plateau region of China, *Catena*, 2014, Vol. 121, p. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.014>
51. Tashkuziev M., Shadieva N. Conditions and factors of humus formation in soils of mountain and foothill, *TPACEE-2021: E3S Web of Conferences* 284, 02008, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20212840200>

Received 21 March 2022

Accepted 25 August 2022

Published 25 August 2022

About the author(s):

Akhatov Abdusamad – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Laboratory "Protection of Water and Land Resources" of the Research Institute of Environment and Environmental Protection Technologies at the State Committee for Ecology and Environment Protection of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan); ekologiya58@mail.ru

Buriev Salimjon Samedzhanovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Director of the Research Institute of Environment and Environmental Protection Technologies at the State Committee for Ecology and Environment Protection of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan); eco_nii@uznature.uz

Nurmatova Victoriya Borisovna – Junior Researcher of the Laboratory "Protection of Water and Land Resources" of the Research Institute of Environment and Environmental Protection Technologies at the State Committee for Ecology and Environment Protection of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan); nurmatoffkennel@gmail.com

Juraev Ganisher Abdinazarovich – Junior Researcher of the Laboratory "Protection of Water and Land Resources" of the Research Institute of Environment and Environmental Protection Technologies at the State Committee for Ecology and Environment Protection of the Republic of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan); Ganisher73@yahoo.com

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



ОСОБЕННОСТИ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ВЫХОДА ГЛУБИННОГО ВОДОРОДА В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ

© 2022 Н. И. Суханова , А. В. Кирюшин 

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Россия. E-mail: vogudin@yandex.ru

Цель исследования: выявить изменение ряда характеристик гумуса черноземов в условиях действия двух факторов - увлажнения и потока эндогенного водорода.

Место и время проведения. Водородометрия с отбором почвенных проб проведена на территории Грязинского района Липецкой области (Кривоборгско-Салтыковский прогиб, зона распространения черноземов выщелоченных) и Октябрьского района Воронежской области (Хоперский глубинный разлом, зона распространения черноземов обыкновенных) в июне 2017 года.

Методы. Содержание молекулярного водорода измеряли непосредственно в поле переносным газоанализатором водорода ВГ-3В. Общее содержание органического углерода определяли по методу Тюрина, рН водной суспензии – потенциометрически. Для оценки состава гумуса использовали однократную щелочную пирофосфатную вытяжку. Показатели светлоты почвенных проб определяли по международной системе цветности CIELAB и по системе LRV на спектроколориметре Nix Color Sensor.

Основные результаты. Показано, что в условиях влияния потока водорода в различных по увлажнению регионах результат воздействия этих двух факторов будет разным. Общим для почв исследуемых регионов является установление восстановительного режима, в морфологическом профиле проявляются признаки оподзоливания и оглеения, наблюдается подкисление почвенной массы и осветление верхнего гумусового горизонта. Однако результаты воздействия такого активного восстановителя как водород на гумусированность и качественный состав гумуса почв этих регионов, сильно разнятся. В более сухом регионе распространения черноземов обыкновенных в водородных западинах идет накопление гумуса (от 2,4 до 5,4%), причем за счет резкого преобладания (второе, иногда четвертое) в его составе фульвокислот; присутствие последних в профиле определяет в нем резкое повышение кислотности. В более влажных черноземах выщелоченных, наоборот, происходит значительная потеря гумуса (от 3,9 до 2,2%), а в составе гумуса преобладают гуминовые кислоты. Этот эффект связан с выносом более подвижных компонентов гумуса за пределы почвенного профиля в условиях более влажного климата Липецкой области.

Ключевые слова: глубинный водород; гумус; гуминовые кислоты; фульвокислоты

Цитирование: Суханова Н.И., Кирюшин А.В. Особенности гумусного состояния черноземных почв, формирующихся в условиях выхода глубинного водорода в различных условиях увлажнения // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 3. e184. DOI: [10.31251/pos.v5i3.184](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.184)

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные исследования показали, что интенсивность дегазации Земли за последнее десятилетие усилилась многократно. Основным газом при холодной дегазации земли является молекулярный водород или, в отдельных случаях, примешиваются его газообразные соединения. Водород просачивается к поверхности Земли по постоянно существующим и действующим путям вертикальной проницаемости, связанных с такими геологическими структурами как рифты, авлакогены, глубинные разломы и узлы их пересечения, кольцевые магматические массивы и др. (Перевозчиков, 2012; Рогожин и др., 2010; Сывороткин, 2000, 2002, 2005; Фирстов, Широков, 2005; Щербаков, Козлова, 1986; Larin et al., 2014; Sugisaki et al., 1983; Wakita et al., 1980; Ware et al., 1985; Zgonnik et al., 2015). На Евразийском континенте их достаточно много – от больших субмеридиональных до разломов более низкого порядка и разной географической ориентации. В их пределах разными авторами, в разное время и разными методами были зафиксированы повышенные потоки глубинных газов: водорода, метана, гелия, радона и др. Поток водородного флюида связан с сейсмическими процессами в глубинах Земли (Гумен, Гусев, 1997; Гумен и др.,

1998; Гуфельд, Матвеева, 2011; Ефременко, 2011; Панина и др., 2016). На поверхности земной коры он формирует западины с размерностью ранга микро- и мезоформ рельефа. Эти западинные структуры представляют собой особого рода геодинамические и геохимические системы, которые являются проводниками глубинной энергии и вещества. Площади их развития характеризуются усиленными экзогенными геодинамическими процессами (повышенная сейсмическая активность, глубинные тепловые потоки и пр.), химической деградацией почвенного покрова, загрязнением подземных водоносных горизонтов, иногда повышенной эманацией радона (Суханова и др., 2014; Суханова и др., 2020; Шестопалов, Макаренко, 2013). В местах скопления западин часто образовывается своеобразный западинный ландшафт. Встречаются территории, сплошь покрытые западинами, причем на космических снимках хорошо видны западинные структуры разных порядков: по размерам, разновременные, накладывающиеся друг на друга и т.п. Это особенно хорошо диагностируется на территориях сельскохозяйственного использования. К таковым относятся районы наших исследований, где практически во всех западинах обнаружен водород.

Наши предыдущие работы показали, что поток молекулярного водорода из недр Земли является значимым фактором гумусообразования и почвообразования в целом. Проходя через почвенные слои, водород резко меняет почвенные свойства, и в разной степени меняет подвижность многих почвенных компонентов (Суханова и др., 2014; Суханова и др., 2020; Sukhanova et al., 2013; Sukhanova, Zubkova, 2018). Конечно, глубинные разломы являются водородоносными не на всем своем протяжении. Это зависит от какой-то внутривоздушной обстановки, часто там, где нарушается сплошность плит земной коры (особенно на пересечениях разломов), на тектонически ослабленных зонах растяжения, на отрезках с максимальным тепловым потоком в неоднородном тепловом поле Земли и др. (Фирстов, Широков, 2005; Щербаков, Козлова, 1986). Субмеридиональные, да и иные разломы на обширном Евразийском континенте могут пересекать природные зоны с разным климатом, разными породами и разными типами почв. Поэтому и результат воздействия водородного флюида на почвенный покров будет разным.

Целью данного исследования являлась оценка эффекта воздействия глубинного водорода на почвы с различными условиями увлажнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на двух обширных территориях примерно с одинаковой высокой плотностью выходов водородного флюида на поверхность, но с разными гидротермическими условиями почвообразования (Аксимов и др., 2014; Трегуб и др., 2008).

Хоперский полигон. Участок с высокой плотностью выходов водорода расположен в районе коленообразного поворота долины р. Хопер в северо-восточной части Воронежской области (Хоперский глубинный разлом, левобережье р. Хопер в окрестностях городов Поворино, Борисоглебск, Новохоперск) общей площадью около 3600 км² (Ефременко, 2011; Larin et al., 2014). Водораздельная часть слабоволнистая. Климат района исследования умеренно-континентальный, с теплым летом и умеренно-холодной зимой. Район отличается неравномерным выпадением осадков в течение года: среднее количество осадков за год – 510 мм, а за летний вегетационный период выпадает 280 мм при повышенной температуре и инсоляции. В почвенном отношении это зона распространения черноземов обыкновенных, которые интенсивно используются в сельском хозяйстве. Во всех исследованных западинах (более двух десятков) отмечена значительная концентрация водорода на глубине 120 см, намного превышающая обычные концентрации в почвенном воздухе. На водораздельной части этой территории выбраны почвы двух водородных западин разного размера. Поскольку западины расположены на расстоянии друг от друга, разрезы закладывали в западине и рядом на окружающем ее черноземе.

Липецкий полигон. Участок исследования расположен в окрестности г. Липецка на стыке двух крупнейших неотектонических структур первого порядка: Среднерусской антеклизы и Окско-Донской депрессии. Это территория субмеридионально вытянутого Кривоборгского и Салтыковского прогиба, в настоящее время испытывающего активизацию, что сопряжено с образованием зон трещиноватости и разрывных дислокаций осадочного чехла и фундамента (Панина и др., 2016; Трегуб и др., 2008). Климат района исследования умеренно-континентальный, с теплым летом и умеренно-холодной зимой. Район отличается неравномерным выпадением осадков в течение года: среднее количество осадков за год – 550 мм, а за летний вегетационный

период 600-650 мм. В почвенном отношении это зона распространения черноземов выщелоченных, почвы интенсивно используются в сельском хозяйстве.

Для исследования выбраны три западины небольшого размера. Они расположены близко друг к другу, поэтому фоновый разрез сравнения для них выбран один.

Превышение содержания молекулярного водорода на глубине 120 см относительно его атмосферного содержания измеряли непосредственно в поле переносным газоанализатором водорода ВГ-3В (Россия). Общее содержание органического углерода ($C_{\text{общ}}$, %) в почвах определяли мокрым сжиганием в сернокисло-хромовой смеси по методу Тюрина, рН водной суспензии – потенциометрически. Для оценки изменений состава гумуса использовали однократную щелочную пирофосфатную вытяжку с разделением ее на щелочно- и кислоторазрушаемые группы (ГК и ФК), без последующего разделения этих групп на фракции. Показатели светлоты почвенных проб определяли по международной системе цветности CIELAB и по системе LRV на спектроколориметре Nix Color Sensor.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования с привлечением информации космической съемки позволяют оценить присутствие изучаемого фактора на отдельных территориях. Во-первых, наиболее вероятны выходы водорода в районах глубинных разломов или стыков платформ, на тепловых аномалиях земной коры. Во-вторых, на поверхности присутствуют правильной формы, круглые, не повторяющие рельеф, западины; они могут быть разного размера. Западины такой формы не могут образоваться под действием осадков, а формируются глубинным потоком флюида. Третий признак – это осветление верхнего гумусового горизонта почв в западинах, особенно заметное на темных почвах, например на черноземах. В-четвертых – на сельскохозяйственных посевах наблюдается угнетение, либо гибель растительности (Sukhanova et al., 2019; Zgonnik, 2020).

Оба полигона расположены в местах повышенной сейсмичности и характеризуются признаками выхода водородного флюида. Все исследованные нами и нашими коллегами западины (их было несколько десятков) показали наличие водорода в разной концентрации от нескольких десятков до 7500 ppm. Большие превышения концентрации водорода чаще наблюдались в больших западинах, но иногда бывало и наоборот.

Хоперский полигон. В западинах в период исследования концентрация водорода составляла в среднем 0,65 об. %, что намного превышает обычные концентрации в почвенном воздухе. Вне западины измеренная концентрация водорода была обычной, такой же, как в атмосферном воздухе (несколько ppm). Более подробные данные по исследованию западин с выходами водорода на этом полигоне были нами представлены и обсуждены ранее в работе (Суханова и др., 2020), но для раскрытия темы данной статьи следует привести некоторые из них.

Первая западина (I) размером около 100 м, глубиной 0,6 м. Западина исключена из сельскохозяйственного использования около 15 лет назад. В настоящее время это залежный участок, зарастающий лугово-степной растительностью с редким кустарником. Разрезы заложены на дне и на периферии западины. Вторая западина (II) размером в диаметре около 20 м развита на регулярной пашне. Строго говоря, это не западина, понижения практически нет, переувлажнения нет, на снимке пашни она выглядит как осветленное пятно правильной круглой формы. Возможно, это будущая западина, поскольку геологи считают, что водородный флюид из глубин земли растворяет нижележащие карбонатные породы, в результате чего и образуются понижения на поверхности. Почва, окружающая западины (фон) – чернозем обыкновенный легкосуглинистый.

Величины рН в исследуемых почвах, подвергающихся воздействию потока водорода, очень низкие по всему почвенному профилю (табл. 1). Такие значения не встречаются в западинах, сформированных под действием только воды, но характерны для западин с присутствием водорода. В западинах такого размера (их очень много на территории исследуемого полигона) увеличивается содержание гумуса, иногда значительно. В то же время наблюдается существенная осветленность их верхних гумусовых горизонтов. Величина показателя светлоты (L) колеблется в пределах 35,3 – 42,7 в почвах западин при 32,4 в фоновой почве.

По классическим представлениям на черноземах в понижениях такого размера, где переувлажнение временное и не очень значительное, происходит повышение гумусированности, причем окраска становится темнее в соответствии с увеличением содержания гумуса; изменение величины рН по профилю такое же, как и в фоновом черноземе (Ахтырцев, Самойлова, 1983).

В нашем случае понятно, что осветленность верхних гумусовых горизонтов не определяется изменением содержания гумуса, а зависит от состава гумуса, который в условиях потока водорода претерпевает глубокую трансформацию.

Таблица 1

Общее содержание органического углерода ($C_{\text{общ}}$), гуминовых кислот ($C_{\text{ГК}}$) и фульвокислот ($C_{\text{ФК}}$), величины pH водной суспензии в почвах западин Хоперского полигона

Объект	Горизонт	pH	$C_{\text{общ}}$, %	$C_{\text{ГК}}$	$C_{\text{ФК}}$	$C_{\text{ГК+ФК}}$	Объект	Горизонт	pH	$C_{\text{общ}}$, %	$C_{\text{ГК}}$	$C_{\text{ФК}}$	$C_{\text{ГК+ФК}}$
				% от $C_{\text{общ}}$							% от $C_{\text{общ}}$		
Западина I							Западина II						
Западина	A _d	5,02	5,38	10,2	30,0	40,2	Западина	A _{пах}	5,37	2,47	10,2	30,2	40,4
	A _{пах}	4,61	3,60	3,8	34,0	37,8		A _{пах}	5,73	2,35	10,4	25,4	35,8
	AE	4,48	2,07	8,2	32,4	40,6		A _{п/п}	5,45	1,82	13,4	28,4	41,8
	E	4,48	0,71	10,4	43,2	53,6		A _{п/п}	5,12	1,34	15,0	31,2	46,2
	B1	4,17	0,53	8,0	40,5	48,5		AB	4,98	1,80	7,4	16,8	24,2
	B2	4,47	0,70	-	-	-		B1	4,95	0,47	3,4	30,6	34,0
	B2	4,70	0,42	-	-	-		B2	4,87	0,39	-	-	-
Вне западины	BC	5,03	0,30	-	-	-	C	5,03	0,07	-	-	-	
	A _{пах}	6,29	2,37	8,4	10,2	18,2	A _{пах}	6,17	2,28	10,2	16,2	26,4	
	A _{п/п}	7,10	1,83	9,2	14,8	24,0	A _{пах}	6,03	2,14	8,4	18,8	27,2	
	AB	7,74	1,23	8,6	12,6	21,2	A _{п/п}	6,81	1,88	9,6	17,0	26,6	
	B1	7,96	0,76	-	-	-	AB	7,21	1,29	7,4	17,4	24,8	
	B2 _{Ca}	8,07	0,38	-	-	-	B1	7,85	0,97	-	-	-	
	BC	8,10	0,28	-	-	-	B2 _{Ca}	8,04	0,60	-	-	-	

Примечание.

Прочерк – данные отсутствуют.

Для выявления особенностей состава гумуса посчитали возможным использовать однократную щелочную пирофосфатную вытяжку, предложенную М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой (Орлов, Гришина, 1981), с разделением ее на щелочно- и кислоторастворимые группы (ГК и ФК), но без последующего деления этих групп на фракции, которая позволяет оценить наиболее трансформируемую часть гумуса. Учитывая, что есть теоретические и экспериментально подтвержденные представления о связи содержания групп гуминовых кислот и фульвокислот с условиями почвообразования, с подвижностью и устойчивостью гуминовых веществ и др., полагаем (с долей условности), что щелочная вытяжка экстрагирует ту их часть, которая наиболее подвержена изменениям при смене почвенных режимов. Изучение варьирования количества и структурной организации (соотношение ГК и ФК) этой фракции может дать информацию об изменениях окраски гумусового горизонта, подвижности гумуса и т.д.

В составе гумуса почв западин резко увеличивается его трансформируемая часть ($C_{\text{ГК}} + C_{\text{ФК}}$ пирофосфатной вытяжки) в основном за счет высокого преобладания в ней группы ФК (иногда втрое) по сравнению с окружающим черноземом обыкновенным. Такое высокое преобладание ФК наблюдается не только в верхнем горизонте почв, но и ниже по морфологическому профилю с тенденцией увеличения в горизонте В; очевидно, что гумус в таких условиях обладает высокой подвижностью и передвигается вниз в виде кислоторастворимых соединений. Кроме того, в препаратах гуминовых кислот, выделенных из почв западин, происходит обуглероживание и увеличение степени ароматичности, что приводит к упрощению их структуры за счет отщепления алифатических фрагментов ГК. Все это ведет к осветлению верхнего гумусового горизонта водородных западин, поскольку гумус обогащается более светлыми компонентами. В почвах наблюдается значительное повышение агрессивных фульвокислот, что, вероятно, является основной причиной сильного подкисления почвенного профиля.

Все эти особенности в той или иной степени наблюдаются для обеих западин, хотя, как указывалось выше, вторую западину (II) мы так называем условно. В ней нет понижения и, следовательно, нет временного периодического переувлажнения, которое ведет к установлению восстановительных условий в почве. Это практически не выражено в профиле при визуальном описании разреза, в отличие от западины I, где они ярко проявляются (наличие элювиального горизонта E, присутствие мелких ортштейнов в горизонте B2 и пр.). Однако характер изменения химических свойств в почве второй западины (II) по отношению к фону, такой же, как и в первой, и ясно указывает, что и в ней условия восстановительные (очень кислая реакция среды по

профилю, отсутствие карбонатных новообразований, значительная фульватность гумуса, осветленность верхнего гумусового горизонта). В этом случае эти изменения никак не могут относиться к действию переувлажнения, их можно отнести только за счет действия на почву такого сильного восстановителя как водород, поступающего извне. Возможно, что при поступлении в почву водорода происходит деструктивное гидрирование гумуса в результате расщепления двойных углерод-углеродных связей подобно механизмам технологии переработки угля, сланцев, нефти, древесины в жидкое топливо в токе молекулярного водорода в присутствии металлов переменной валентности, их сульфидов и оксидов. В результате гуминовые вещества распадаются на более мелкие фрагменты. Известно, что окраска гумуса зависит от наличия в составе гумуса сопряженных двойных углерод-углеродных связей. А если так, то сильное осветление гумусного горизонта в черноземных почвах, подвергающихся действию водорода, вполне закономерно. Кроме того, в этих условиях гумус, в целом, становится очень подвижным; при наличии агента переноса он легко может терять легкогидролизуемые компоненты. Подтверждением этого служит наличие в морфологическом профиле таких почв очень мощных гумусовых кутан, потеков гумуса до большой глубины.

Липецкий полигон. Этот участок также характеризуется очень большой плотностью выхода водородного флюида по площади и изобилует западинами разного размера с разными уровнями величин измеренной концентрации водорода. Для реализации цели настоящего исследования и некоторых статистических обобщений были выбраны три небольшие западины примерно с близкими режимами (соотношения размеров и глубины, концентрация водорода, и др.). Крупные и глубокие западины в данной работе мы не рассматривали, поскольку в этих случаях необходимо учитывать еще такой важный фактор, как рельеф, где сочетаются аккумулятивные и транзитные ландшафты. Агент переноса подвижных компонентов почвы (в данном случае это атмосферная вода) здесь мощный и реализуется не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении. Конечно, и в наших исследованных западинах горизонтальный перенос есть, но он все-таки при наличии растительности не так велик.

Западина 1. Старая западина на поле размером около 100 м. В боковой части западины был, вероятно, неглубокий провал, теперь это неглубокое понижение, заросшее осиной, березой, ивой с густым травянистым покровом из сорных трав. Пологая часть западины включена в поле с посевом ячменя. Посевы в западине по сравнению с фоном изрежены и угнетены, проективное покрытие относительно фона около 50%. На космическом снимке пологая часть западины интенсивно светлеет при приближении к центру в точке 4 (рис. 1), где максимальная светлота на снимке определяется не только изреженностью посевов, но и осветленностью верхнего горизонта почв, что видно даже невооруженным глазом при полевых обследованиях западины.

Водородометрия (рис. 1) проводилась по трансекте, пересекающей западину. Наибольший поток водорода наблюдался на границе между провальной частью и пологим склоном западины (на рисунке точка 4).

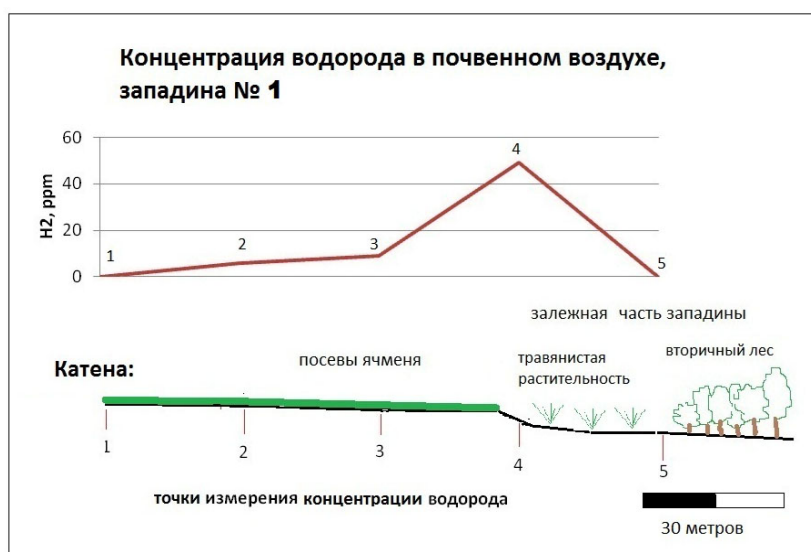


Рисунок 1. Водородометрия на территории выхода водорода, западина 1. Почвенный разрез заложен в центре западины (точка 4 на рисунке).

Западина 2. Маленькая западина на поле ячменя, размером около 50 м, когда-то, вероятно в сухие годы, пахалась и заседалась, в настоящее время исключена из пашни, растительность – влаголюбивые злаки, сорная. На снимке выглядит как округлое правильной формы темное пятно, окруженное светлым кольцом. Водородометрия проводилась по трансекте, пересекающей западину, через 10 м. В центре западины регистрировались наибольшие значения содержания водорода (около 30 ppm) с постепенным снижением его уровня к краям западины (рис. 2); почвенный разрез заложен в центре западины (точка 6).

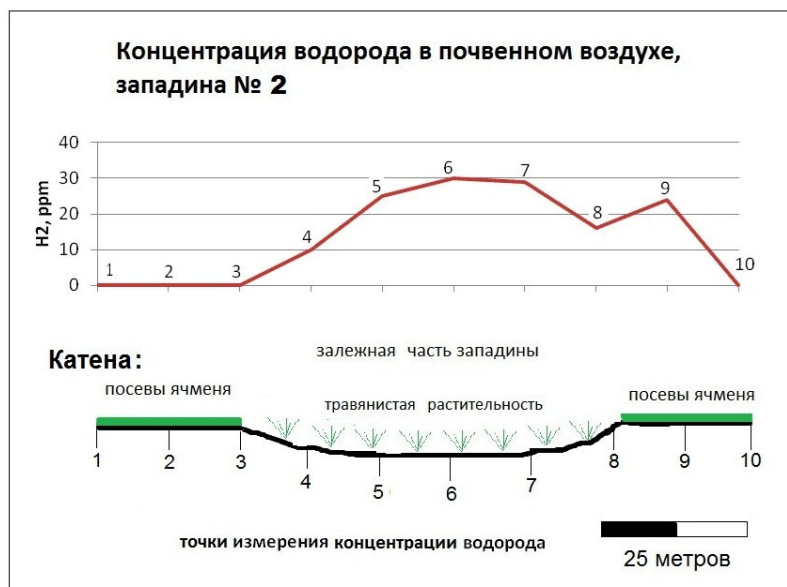


Рисунок 2. Водородометрия на территории выхода водорода, западина 2. Почвенный разрез заложен в центре западины (точка 6 на рисунке).

Западина 3. Обширная, очень пологая и неглубокая западина на поле ячменя, размерами около 300 м в диаметре, глубиной около 30 см. На космическом снимке представляет собой округлое осветленное пятно на поле. Посевы в центре западины угнетены, проективное покрытие относительно фона 50-60%. Наибольшие значения содержания водорода наблюдались в центре западины (около 90 ppm) с постепенным снижением его уровня к краям западины (рис. 3).

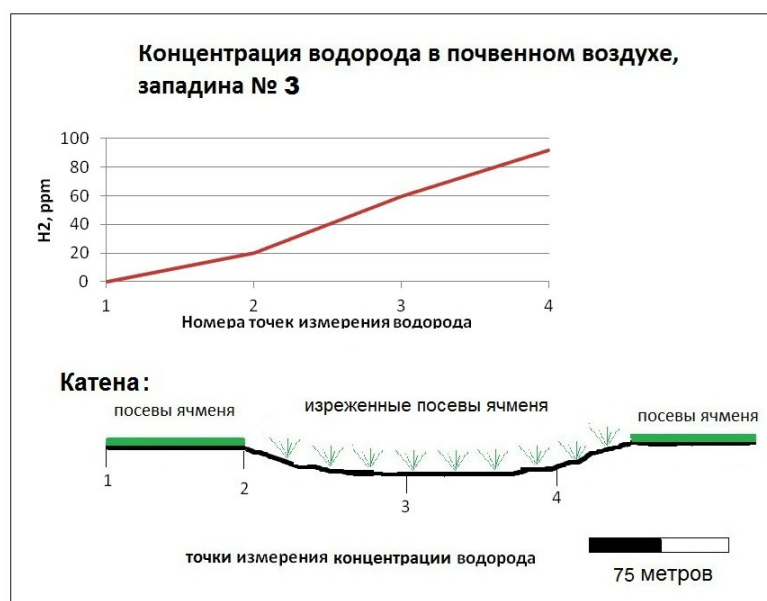


Рисунок 3. Водородометрия на территории выхода водорода, западина 3. Почвенный разрез заложен в центре западины (на рисунке точка 3).

Трудно точно оценить интенсивность воздействия потока водорода в западинах, так как он, по свидетельству многих исследователей, неравномерно, импульсно и часто не прогнозируемо выходит на поверхность (Нивин и др., 2018; Перевозчиков, 2012; Сывороткин, 2002; Rhee et al., 2006; Prinzhofer et al., 2019; Simon et al., 2020). Сегодня это 50 ppm, а завтра может увеличиться на несколько порядков. Довольно условно можно оценить время развития мелких западин только по свидетельству местных аграриев и по остаткам пахотного горизонта в морфологическом профиле почв, навсегда исключенных из пашни; это, вероятно, десятки лет. О возрасте крупных водородных структур говорить сложно, требуются более глубокие исследования. Но наши полевые наблюдения и замеры показывают, что поток глубинного водорода здесь присутствует и, судя по словам местных сельхозпроизводителей, западины продолжают развиваться, причем довольно интенсивно.

Первая западина, вероятно, старше остальных двух, поскольку край ее когда-то провалился, зарос кустарниками и деревьями. Атмосферная вода, стекающая туда, вероятнее всего, формирует внизу линзу, препятствующую прохождению газа. Известно, что скорость потока газа в обводненной почвенной толще на порядок меньше, чем в воздухе (Перевозчиков, 2012; Пискарев, 2010), и он стремится вверх рядом, по пути наименьшего сопротивления (точка 4 на рис. 1); в это же время в заросшем понижении водород не обнаружен. Это довольно традиционная, часто встречающаяся картина.

Наиболее молодая западина 3, хотя и очень обширная, но не глубокая. Обнаружить ее на поле по ландшафту было почти невозможно; только на космическом снимке она видна как правильной формы круглое светлое пятно на заросшем ячменем поле. Вряд ли в ней собирается много воды, поэтому период переувлажнения короче. Однако поток водорода в ней на момент исследования был значительно интенсивнее, чем в остальных западинах. Визуальные признаки восстановительного процесса в этой почве, пожалуй, ярче, чем в остальных.

Морфологические описания почв всех трех западин по сравнению с фоновым черноземом выщелоченным отражают признаки сильного восстановительного процесса. Оподзоливание и оглеение наблюдаются уже в нижней части гумусового горизонта; в горизонте В (западина 3) иногда присутствуют в небольшом количестве ортштейны. Структурные элементы почвенной массы обволакивают очень мощные, черные кутаны, переходящие в гумусовые вертикальные потоки между структурными отдельностями.

Во всех западинах, в отличие от фона, происходит очень сильное осветление верхнего гумусового горизонта. Измеренные в лаборатории показатели светлоты (L, A) верхнего горизонта почвы западины 1 составляют 38 и 10%, в фоновой почве их величина значительно ниже 26 и 5% соответственно. В западине 2 показатели светлоты (L, A) верхнего горизонта почвы составляют 44 и 14%, а в западине 3 – 35 и 8% при 26 и 5% в фоновой почве (табл. 2). Собственно говоря, оба показателя отражают практически одинаковые закономерности, поэтому использовать можно оба, но предпочтительнее альбедо, так как в этом случае закономерности проявляются ярче, кроме того, на черно-белых космических снимках фиксируется именно альбедо.

Таблица 2

Светлота и общее содержание органического углерода ($C_{\text{общ}}$) верхнего горизонта почв западин Липецкого полигона

Показатель	Местоположение			
	Западина 1	Западина 2	Западина 3	Фон
L, %	38	44	35	26
A, %	10	14	8	5
$C_{\text{общ}}$, %	3,2	2,1	2,9	3,9

Примечание.

L – светлота (по международной системе цветности CIELAB), A – альбедо (по системе LRV).

Осветление верхних гумусовых горизонтов почв западин очень сильное, величины показателя светлоты (L) на 9-18% больше, чем таковые в окружающем фоновом черноземе выщелоченном. Оно значительнее, чем в почвах западин Хоперского полигона, где показатель L всего на 3-10% выше, чем в фоновом черноземе обыкновенном.

В почвах западин Липецкого полигона, как и на территории Хоперского полигона, наблюдается подкисление почвенной массы всех горизонтов, иногда значительное – до 4,76 при

6,45 в фоновой почве; но в большинстве случаев подкисление не столь высокое. Величины pH колеблются в пределах 5,46-6,29 в водородных западинах при 5,15-6,48 в фоновом выщелоченном черноземе (табл. 3).

Таблица 3

Общее содержание органического углерода ($C_{\text{общ}}$), углерода гуминовых кислот ($C_{\text{ГК}}$) и фульвокислот ($C_{\text{ФК}}$), величины pH водной суспензии в почвах западин Липецкого полигона

Объект	Горизонт	pH	$C_{\text{общ}}$, %	$C_{\text{ГК}}$	$C_{\text{ФК}}$	$C_{\text{ГК}}+C_{\text{ФК}}$
				% от $C_{\text{общ}}$		
Вне западины	$A_{\text{пах}}$	6,45	3,88	5,9	2,6	8,5
	$A_{\text{п/п}}$	6,48	3,10	9,0	3,9	12,9
	AB	6,29	1,26	20,6	15,9	36,5
	B1	6,15	0,35	-	-	-
	B2	6,16	0,23	-	-	-
Западина 1	$A_{\text{пах}}$	4,76	3,22	5,6	5,9	11,5
	A_{Eg}	5,64	1,13	26,5	15,0	41,5
	A_{EB}	5,91	0,69	40,5	24,6	65,1
	B1	5,92	0,33	-	-	-
	B2	5,96	0,23	-	-	-
Западина 2	A_{d}	5,64	2,21	12,1	7,9	20,0
	A	5,61	2,15	12,5	8,4	20,9
	AE	6,14	1,70	15,9	13,5	29,4
	E	6,29	0,60	-	-	-
	B1	5,91	0,33	-	-	-
Западина 3	$A_{\text{пах}}$	5,06	2,89	7,9	5,5	13,4
	E_{g}	5,84	0,64	46,8	37,5	84,3
	B1	5,93	0,54	20,4	37,0	57,4
	B2	5,46	0,19	-	-	-

Примечание.

Прочерк – данные отсутствуют.

В отношении гумусированности почвы западин на черноземе выщелоченном Липецкого полигона демонстрируют резкое ее снижение. Общее содержание органического углерода падает от 3,88% в фоновой почве до 2,21-3,22% в западинах. В составе гумуса легко трансформируемая часть ($C_{\text{ГК}} + C_{\text{ФК}}$ пирофосфатной вытяжки) в верхнем горизонте немного возрастает: от 8,5% в фоновой почве до 11,5-13,4% в западинах 1 и 3. Резкий скачок этой величины наблюдается в элювиальных горизонтах – до 65,1-84,3% от $C_{\text{общ}}$. Соотношение групп ГК и ФК пирофосфатной вытяжки не показывает увеличения фульватности гумуса, как это было в черноземах обыкновенных, формирующихся в условиях тока водорода, а, наоборот, при увеличении кислотности, что необычно, имеет тенденцию изменения в сторону гуматного типа. Исключение составляет западина 2. Если западины 1 и 3 пахуются и засеваются ежегодно (в них вымочка, конечно, может быть, но только во влажные годы), то западина 2 была ранее исключена из пашни и в настоящее время заросла влаголюбивыми травами; в ней почти всегда влажно, в течение вегетационного периода мало резких скачков затопления–иссушения. Водородометрия показала в ней небольшую интенсивность потока водорода по сравнению с западинами 1 и 3. Вероятно, поэтому, распределение по профилю групп гумусовых кислот плавное, малодифференцированное.

Можно констатировать, что осветление почв в водородных западинах на черноземе выщелоченном (полигон Липецкий) в отличие от таких на черноземе обыкновенном (Хоперский полигон) в большой степени определяется потерей гумуса, хотя нельзя исключать и трансформацию гуминовых кислот, поскольку известно, что молекулярный водород является сильным восстановителем и в ходе прохождения через почву снижает окислительно-восстановительный потенциал до крайне низких значений, а в таких условиях возможна трансформация гуминовых кислот (Ахтырцев, Самойлова, 1983; Канивец, 1970). Высокое содержание гуминовых кислот в составе гумуса почв западин на черноземе выщелоченном не говорит о том, что процесс гумификации идет в гуматную сторону. Липецкая область характеризуется более влажным климатом, максимум осадков здесь выпадает летом (600-650 мм), в то время как в более засушливом Поворинском районе (Хоперский разлом) летом их всего 280

мм. В Липецких западинах в течение активного вегетационного периода режим пульсирующий – застойный чаще чередуется с промывным. В профиле почв во время интенсивных кратковременных летних дождей образуется достаточное количество воды для переноса подвижных компонентов гумуса вниз. Можно полагать, что в условиях потока водорода (как и в почвах водородных западин Хоперского разлома) происходит некоторый распад гумуса и появление в почвах фульвокислот, которые в условиях более влажного климата Липецка быстро выносятся вниз за пределы морфологического профиля, поскольку их подвижность выше, чем подвижность гуминовых кислот. Подтверждением этого являются очень мощные гумусовые кутаны по граням структурных отдельностей, напоминающие потеки гумуса до большой глубины. Поскольку в этих более влажных условиях фульвокислоты мало задерживаются в профиле, то нет и сильного подкисления почв, такого как в западинах на территории распространения чернозема обыкновенного.

Для иллюстрации этого, можно сравнить западину 1 на черноземе обыкновенном и западину 2 на черноземе выщелоченном. Целесообразно сравнивать эти западины, поскольку условия в них близки, обе когда-то пахались, но сейчас выведены из сельскохозяйственного использования. В морфологическом профиле есть старопашотный горизонт, который уже несколько трансформировался, а сверху выделяется дерновый горизонт. Можно предположить, что, поскольку человек какое-то время не вмешивался в почвенные процессы, то обстановка в них относительно стабилизировалась по сравнению с пашней.

Таблица 4

Величины рН водной суспензии и содержание фульвокислот ($C_{ФК}$) в почве западин

ЧЕРНОЗЕМ ОБЫКНОВЕННЫЙ				ЧЕРНОЗЕМ ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ			
Объект	Горизонт	$C_{ФК}$, % от почвы	рН	Объект	Горизонт	$C_{ФК}$, % от почвы	рН
Вне западины	$A_{пах}$	0,24	6,29	Вне западины	$A_{пах}$	0,10	6,45
	$A_{п/п}$	0,27	7,10		$A_{п/п}$	0,12	6,48
	AB	0,23	7,74		AB	0,20	6,29
Западина 1	A_d	1,61	5,02	Западина 2	A_d	0,17	5,64
	$A_{пах}$	1,56	4,61		$A_{пах}$	0,27	5,61
	AB	0,67	4,48		AE	0,27	6,14

Если оценить абсолютное содержание фульвокислот в почве, а не в % от $C_{общ}$, то отчетливо видно, что большое увеличение фульвокислот в почве водородной западины на черноземе обыкновенном соотносится с резким снижением величин рН. В западинах на черноземе выщелоченном увеличение ФК в почве значительно меньше, величины рН, конечно, снижаются относительно фона, но не так резко.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвы (чернозем обыкновенный и чернозем выщелоченный) исследуемых нами регионов, подвергающиеся воздействию глубинного водорода, формируются примерно в одинаковом температурном диапазоне климата, но при резко различном количестве выпадающих осадков. В более сухом регионе (Хоперский полигон, территория распространения чернозема обыкновенного) выпадает летом всего 280 мм осадков. Здесь в почвах западин, подвергающихся воздействию водорода, в морфологическом профиле проявляются признаки оподзоливания и оглеения и на начальных стадиях этого восстановительного процесса происходит необычное осветление верхнего гумусового горизонта. При значительном повышении гумусированности в составе гумуса начинает преобладать (втрое, иногда вчетверо) группа фульвокислот, которые накапливаются и ведут к сильному подкислению всех горизонтов, включая верхний, и, в результате, к удалению характерных для этого типа почв карбонатных новообразований во всем почвенном профиле и ниже.

В более влажном регионе (Липецкая область, территория распространения чернозема выщелоченного) осадков летом выпадает вдвое больше (600-550 мм). В почвах западин, подвергающихся воздействию водорода, осветление верхнего гумусового горизонта гораздо интенсивнее. В морфологическом профиле также проявляются признаки оподзоливания и

оглеения, хотя подкисление почвенной массы не столь высокое. Следует особо отметить, что даже в небольших западинах этого региона наблюдается значительная потеря гумуса. При этом в составе гумуса соотношение групп гуминовых кислот и фульвокислот иное, чем в почвах западин Хоперского полигона. Содержание гуминовых кислот несколько выше, чем содержание фульвокислот, вероятно, за счет выноса из профиля последних в условиях интенсивного пульсирующего увлажнения.

Причиной трансформации гумуса черноземных почв в условиях дегазации из недр Земли является сочетание двух факторов: потока молекулярного водорода и сопутствующего переувлажнения. В условиях черноземных ландшафтов это ведущие разрушительные факторы, хотя они неравномерны и в пространстве и во времени. Действие их сводится к установлению в почвах активного восстановительного режима, но реализация его и, в конечном итоге, результат изменения соответствующих показателей состояния гумуса зависит еще от факторов более высокого порядка, например гидротермических условий природной зоны, в которой формируются конкретные почвы.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы МГУ им. М.В. Ломоносова, № гос. задания 121040800154-8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Л.М., Бочаров В.Л., Дмитриева В.А., Нестеров Ю.А., Нефедова Е.Г., Прохорова О.В., Строгонова Л.Н., Федотов В.И., Федотов С.В. Материалы по оценке производительных сил муниципальных районов Воронежской области (Агроклиматические, водные и рекреационно-туристические ресурсы) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: география, геоэкология*. 2014. № 4. С. 68–126.
2. Ахтырцев А.Б., Самойлова Е.М. Влияние гидроморфизма на распределение, накопление и состав гумуса в почвах лесостепи // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 1983. № 2. С. 3–11.
3. Войтов Г.И., Осика Д.Г. Водородное дыхание Земли как отражение особенностей геологического строения и тектонического развития ее мегаструктур // *Труды Геологического Института Махачкалы*. 1982. С. 7–29.
4. Гумен А.М., Гусев А.П. Газогеохимические индикаторы геодинамической активности глубинных разломов на юго-востоке Беларуси // *Литасфера*. 1997. № 6. С. 140–149.
5. Гумен А.М., Гусев А.П., Рудаков В. Подпочвенный водород – индикатор изменений напряженно-деформированного состояния земной коры сейсмичных районов // *Доклады Российской академии наук*. 1998. № 359. с. 390–393.
6. Гуфельд И.Л., Матвеева М.И. Барьерный эффект дегазации и разрушения земной коры // *Доклады академии наук*. 2011. Том 438. № 2. С. 677–680.
7. Ефременко М.А. *Современные геодинамически активные зоны Воронежского кристаллического массива по геологическим, геофизическим и сейсмологическим данным*. Автореф. дисс. ... к.г.-м.н. М., 2011. 23 с.
8. Канивец В.И. Взаимодействие водорода, метана и сероводорода с минеральной частью почвы // *Почвоведение*. 1970. № 5. С. 52–59.
9. Нивин В.А., Пуха В.В., Ловчиков А.В., Рахимов Р.Г. Особенности и факторы временных изменений выделения водорода на Ловозерском месторождении редких металлов (Кольский полуостров) // *Геохимия*. 2018. № 7. С. 661–675. DOI: 10.1134/S0016752518070075
10. Орлов Д.С., Гришина Л.А. *Практикум по химии гумуса*. М.: Издательство Московского университета, 1981. 273 с.
11. Панина Л.В., Зайцев В.А., Сенцов А.А., Агibalов А.О. Неотектоника центральной части Восточно-Европейской платформы // *Бюллетень московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 2016. Том 91. № 4-5. С. 51–60.
12. Перевозчиков Г.В. Поле водорода на месторождении ГАЗЛИ по данным геохимических исследований в нефтегазоносном регионе Средней Азии // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2012. Том 7. № 1. С. 1–13.

13. Пискарев И.М., Ушканов В.А., Аристова Н.А., Лихачев П.П., Мысливец Т.С. Установление окислительно-восстановительного потенциала воды, насыщенной водородом // *Биофизика*. 2010. Том 55. Вып. 1. С. 19–24.
14. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Ларин Н.В. Глубинное строение Московского авлакогена в западной части Москвы // *Геофизические процессы и биосфера*. 2010. Том 9. № 2. С. 37–49.
15. Суханова Н.И., Ларин Н.В., Кирюшин А.В. Влияние потока эндогенного водорода на химические свойства почв // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2014. Том 10. № 1. С. 214–220.
16. Суханова Н.И., Трофимов С.Я., Степанов А.Л., Кирюшин А.В. Особенности черноземных почв района Хоперского глубинного разлома Земной коры // *Почвоведение*. 2020. № 2. С. 199–209. DOI: 10.31857/S0032180X20020124
17. Сывороткин В.Л. Экспериментальное подтверждение водородной концепции разрушения озонового слоя Земли // Система планеты Земля: Матер. XIII научного семинара. Москва, 2005. С. 265–267.
18. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация земли и глобальные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.
19. Сывороткин В.Л. Озоновые аномалии над Воронежем – индикаторы глубинной дегазации // Материалы к литологическому совещанию “Литология и полезные ископаемые Центральной России”. 3–8 июля 2000. С. 81–82.
20. Трегуб А.И., Корабельников Н.А., Трегуб С.А., Старухин А.А. Территориальный прогноз развития опасных экзогенных геологических процессов в Липецкой области // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2008. № 1. С. 147–152.
21. Фирстов П.П., Широков В.А. Динамика молекулярного водорода и ее связь с деформационными процессами на геодинамическом полигоне Петропавловск-Камчатский: данные наблюдений в 1999–2003 годах // *Геохимия*. 2005. № 11. С. 1151–1160.
22. Шестопалов В.М., Макаренко А.Н. Поверхностные и приповерхностные проявления аномальной дегазации // *Геологический журнал*. 2013. № 3. С. 7–25.
23. Щербаков А.В., Козлова Н.Д. Наличие водорода в подповерхностных флюидах и связь аномальных концентраций с глубинными разломами в СССР // *Геотектоника*. 1986. № 2. С. 120–128.
24. Rhee T.S., Brenninkmeijer C.A.M., Röckmann T. The overwhelming role of soils in the global atmospheric hydrogen cycle // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2006. No. 6. P. 1611–1625. <https://doi.org/10.5194/acp-6-1611-2006>, 2006.
25. Larin N., Zgonnik V., Rodina S., Deville E., Prinzhofer A., Larin V. Natural Molecular Hydrogen Seepage Associated with Surficial, Rounded Depressions on the European Craton in Russia // *Natural Resources Research*. 2015. No. 24. p. 369–383. <https://doi.org/10.1007/s11053-014-9257-5>
26. Prinzhofer A., Moretti, I., Françolin J., Pachecodet C., D'Agostinoe A., Werlye J., Rupine F. Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H₂-emitting structure // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. Is. 2. P. 5676–5685. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.119>
27. Simon J., Fulton P., Prinzhofer A. and Cathles L. Earth Tides and H₂ Venting in the Sao Francisco Basin, Brazil // *Geosciences*. 2020. No. 10 (10). P. 414. <https://doi.org/10.3390/geosciences10100414>
28. Sugisak, R., Ido M., Takeda H., Isobe Y., Hayashi Y., Nakamura N., Satake H., Mizutani Y. Origin of hydrogen and carbon dioxide in fault gases and its relation to fault activity // *The Journal of Geology*. 1983. Vol. 91. No. 3. P. 239–258. <https://doi.org/10.1086/628769>
29. Sukhanova N.I., Trofimov S.Y., Polyanskaya L.M., Larin N.V., Larin V.N. Changes in the humus status and the structure of the microbial biomass // *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. No. 2. P. 135–144. <https://doi.org/10.1134/S1064229313020142>
30. Sukhanova N.I., Zubkova T.A. State of organic matter and particularities of physicochemical properties of soils in the endogenous hydrogen seepage zones // *Open Journal of Soil Science*. 2018. No. 8. P. 186–196. <https://doi.org/10.4236/ojss.2018.88015>
31. Sukhanova N.I., Lysak L.V., Kiryushin A.V. Influence of Hydrogen Fluid on Plants in Natural Conditions and a Model Experiment // *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2019. Vol. 74. No. 5. P. 208–213. <https://doi.org/10.3103/S0147687419050053>

32. Wakita H., Nakamura Y., Kita I., Fujii N., Notsu K. Hydrogen release: new indicator of fault activity // *Science*. 1980. Vol. 210. P. 188–190. <https://doi.org/10.1126/science.210.4466.188>
33. Ware R.H., Roecken C., Wyss M. The detection and interpretation of hydrogen in fault gases // *Pure and Applied Geophysics*. 1984. Vol. 122. P. 392–402. <https://doi.org/10.1007/BF00874607>
34. Zgonnik V., Beaumont V., Deville E., Larin N., Pillot D., Farrell K.M. Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA) // *Progress in Earth and Planetary Science*. 2015. Vol. 2. P. 31. <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0062-5>
35. Zgonnik V. The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review // *Earth-Science Reviews*. 2020. Vol. 203. P. 103140. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140>

Поступила в редакцию 17.06.2022

Принята 17.10.2022

Опубликована 01.11.2022

Сведения об авторах:

Суханова Наталья Ивановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры химии почв факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия); vogudin@yandex.ru

Кирюшин Алексей Валериевич – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры химии почв факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия); akiriushin@mail.ru

Автор(ы) прочитал(и) и одобрил(и) окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

HUMUS STATUS OF THE CHERNOZEM SOILS FORMED UNDER DEEP HYDROGEN RELEASE AND DIFFERENT HUMIDIFICATION

© 2022 N. I. Sukhanova , A. V. Kiryushin 

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia. E-mail: vogudin@yandex.ru

Purpose of the study: to reveal changes in some humus characteristics in chernozems under the influence of two factors, specifically, humidification and the flow of endogenous hydrogen.

Place and time of the study. Soil sampling and hydrometry were carried out on the territory of the Gryazinsky district of the Lipetsk region (Krivoborgsko-Saltykovsky trough, the territory with leached chernozems) and on the territory of the Oktyabrsky district of the Voronezh region (Khopersky deep fault, the territory with ordinary chernozems) in June 2017.

Methods. The molecular hydrogen content was measured directly in the field with a portable hydrogen gas analyzer VG-3B. The total soil organic carbon (SOM) content was determined by the Tyurin method, and pH was measured potentiometrically. To assess the SOM composition, an alkaline pyrophosphate extraction was used. The luminance values of soil samples were determined using the CIELAB international chromaticity system and the LRV system on the Nix Color Sensor spectrophotometer.

Results. The study showed that under the influence of hydrogen flow in different humidification regions, the effect of these two factors was different. The establishment of the reductive regime, signs of podzolization and gleing in the morphological profile, acidification of the soil bulk and brightening of the upper humus horizon were found to be common features between the soils of these regions. However, the effect of such active reducing agent as hydrogen on the SOM and qualitative composition in these regions varied greatly. In the drier region with ordinary chernozems, SOM accumulated in hydrogen relief depressions (from 2.4 to 5.4%), and due to their sharp predominance (three times, sometimes four times) in SOM composition and predominance in the soil profiles, fulvic acids determined a sharp increase in soil acidity. The leached chernozems, on the contrary, manifested a significant SOM loss (from 3.9 to 2.2%), with humic acids

predominating in SOM composition. This effect was most likely associated with the removal of more mobile SOM components outside the soil profile in the more humic climate of the Lipetsk region.

Key words: endogenous hydrogen; soil organic matter; humic acids; fulvic acids

How to cite: Sukhanova N.I., Kiryushin K.A. Humus status of chernozem soils formed under deep hydrogen release and different humidification conditions // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(3). e184. DOI: 10.31251/pos.v5i3.184 (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Akimov L.M., Bocharov V.L., Dmitriyeva V.A., Nesterov Yu.A., Nefedova E.G., Prokhorova O.V., Strogonova L.N., Fedotov V.I., Fedotov S.V. Information over the evaluation of municipal districts' productive forces in Voronezh region (agroclimatic, water, recreation and tourism resources), *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 2014, No. 4, p. 68–126. (in Russian)
2. Akhtyrtshev A.B., Samoylova E.M. Influence of hydromorphism on distribution, accumulation and composition of humus in forest-steppe soils, *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*, 1983. No. 2. p. 3–11. (in Russian)
3. Voytov G.I., Osika D.G. Hydrogen Breathing of the Earth as a Reflection of Peculiarities of Geological Structure and Tectonic Development of its Megastructures, *Proceedings of Makhachkala Geological Institute*, 1982, p. 7–29. (in Russian)
4. Gumen A.M., Gusev A.P. Gas-geochemical indicators of geodynamic activity of deep faults in south eastern Belarus, *Litasfera*, 1997, No. 6, p. 140–149. (in Belarus)
5. Gumen A.M., Gusev A.P. Subsurface hydrogen as an indicator of changes in the stress-strain state of the earth's crust in seismic areas, *Doklady Rossijskoj akademii nauk*, 1998, No. 359, p. 390–393. (in Russian)
6. Gufeld I.L., Matveeva M.I. Barrier effect of degassing and destruction of the Earth's crust, *Doklady Akademii Nauk*, 2011, Vol. 438, No. 2. p. 677–680. (in Russian)
7. Efremenko M.A. *Modern geodynamically active zones of the Voronezh crystalline massif by geological, geophysical, and seismological data*. Abstract of Dissertation ... Cand. of Geol.-mineral. Sci. Moscow, 2011. 23 p. (in Russian)
8. Kanivets V.I. Interaction of hydrogen, methane and hydrogen sulfide with mineral part of soil, *Pochvovedenie*, 1970, No. 5, p. 52–59. (in Russian)
9. Nivin V.A., Pukha V.V., Lovchikov A.V., Rakhimov R.G. Features and factors of time variations in hydrogen release at Iovozersky rare-metal deposit (Kola peninsula), *Geochemistry International*, 2018, Vol. 56, No. 7. p. 688–701. DOI: 10.1134/S0016702918070078
10. Orlov D.S., Grishina L.A. *Workshop on the chemistry of humus*. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1981, 273 p. (in Russian)
11. Panina L.V., Zaitsev V.A., Sentsov A.A., Agibalov A.O. Neotectonics of the East European platform central part, *Byulleten' moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskij*, 2016, Vol. 91, No. 4–5, p. 51–60. (in Russian)
12. Perevozchikov G.V. Geochemical research on hydrogen accumulation in the GAZLI gas field, *Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2012, Vol. 7, No. 1, p. 1–13. (in Russian)
13. Piskarev I.M., Ushkanov V.A., Aristova N.A., Likhachev P.P., Myslivets T.S. Establishment of the redox potential of water saturated with hydrogen, *Biophysics*, 2010, Vol. 55, No. 1, p. 13–17.
14. Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Stepanova M.Yu., Larin N.V. Deep structure of the Moscow aulacogene in the western part of Moscow city, *Geophysical Processes and Biosphere*, 2010, Vol. 9, No. 2, p. 37–49. (in Russian)
15. Sukhanova N.I., Larin N.V., Kiriyushin A.V. Effect of endogenous hydrogen flux on chemical properties of soil, *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2014, Vol. 10, No. 1, p. 214–220. (in Russian)
16. Sukhanova N.I., Trofimov S.Y., Stepanov A.L., Kiryushin A.V. Specific features of Chernozemic soils in the area of the Koper deep fault in the Earth crust, *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53. No. 2. p. 197–206. DOI: 10.1134/S106422932002012X
17. Syvorotkin V.L. *Experimental confirmation of hydrogen concept of Earth ozone layer destruction*. In book: Earth System. Proc. of XIII scientific seminar. Moscow, 2005. p. 265–267. (in Russian)
18. Syvorotkin V.L. *Deep Earth Degassing and Global Catastrophes*. Moscow: Geoinformtsentr, 2002, 250 p. (in Russian)

19. Syvorotkin V.L. *Ozone anomalies over Voronezh - indicators of deep degassing*. Proceedings of the Lithological Council. "Lithology and minerals of Central Russia". July 3-8, 2000, p. 81–82. (in Russian)
20. Tregub A.I., Korabelnikov N.A., Tregub S.A., Starukhin A.A. Territorial forecast of dangerous exogenous geological processes in Lipetsk region, *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2008, No. 1, p. 147–152. (in Russian)
21. Firstov P.P., Shirokov V.A. Dynamics of molecular hydrogen and its relation to deformational processes at the Petropavlovsk-Kamchatskii geodynamic test site: evidence from observations in 1999–2003, *Geochemistry International*, 2005, Vol. 43, No. 11, p. 1056–1064.
22. Shestopalov V.M., Makarenko A.N. Some Results of Studies Developing the V.I. Vernadsky's Idea about "Gas Breathing" of the Earth. Paper 1. Surface and Nearsuburb Face Manifestations of Anomalous Degassing, *Geologichnyi zhurnal*, 2013, No. 3, p. 7–25. (in Ukraine)
23. Shcherbakov A.V., Kozlova N.D. Presence of hydrogen in subsurface fluids and connection of anomalous concentrations with deep faults in the USSR, *Geotektonika*, 1986, No. 2. p. 120–128. (in Russian)
24. Rhee T.S., Brenninkmeijer C.A.M., Röckmann T. The overwhelming role of soils in the global atmospheric hydrogen cycle, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2006, No. 6, p. 1611–1625. <https://doi.org/10.5194/acp-6-1611-2006>, 2006.
25. Larin N., Zgonnik V., Rodina S., Deville E., Prinzhofer A., Larin V. Natural Molecular Hydrogen Seepage Associated with Surficial, Rounded Depressions on the European Craton in Russia, *Natural Resources Research*, 2015, No. 24, p. 369–383. <https://doi.org/10.1007/s11053-014-9257-5>
26. Prinzhofer A., Moretti, I., Françolin J., Pachecodet C., D'Agostinoe A., Werlye J., Rupine F. Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H₂-emitting structure, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, Vol. 44, Is. 2, p. 5676–5685. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.119>
27. Simon J., Fulton P., Prinzhofer A. and Cathles L. Earth Tides and H₂ Venting in the Sao Francisco Basin, Brazil, *Geosciences*, 2020, No.10 (10), p. 414. <https://doi.org/10.3390/geosciences10100414>
28. Sugisaki, R., Ido M., Takeda H., Isobe Y., Hayashi Y., Nakamura N., Satake H., Mizutani Y. Origin of hydrogen and carbon dioxide in fault gases and its relation to fault activity, *The Journal of Geology*, 1983, Vol. 91, No. 3, p. 239–258. <https://doi.org/10.1086/628769>
29. Sukhanova N.I., Trofimov S.Y., Polyanskaya L.M., Larin N.V., Larin V.N. Changes in the humus status and the structure of the microbial biomass, *Eurasian Soil Science*, 2013, Vol. 46, No. 2, p. 135–144. <https://doi.org/10.1134/S1064229313020142>
30. Sukhanova N.I., Zubkova T.A. State of organic matter and particularities of physicochemical properties of soils in the endogenous hydrogen seepage zones, *Open Journal of Soil Science*, 2018, No. 8, p. 186–196. <https://doi.org/10.4236/ojss.2018.88015>
31. Sukhanova N.I., Lysak L.V., Kiryushin A.V. Influence of Hydrogen Fluid on Plants in Natural Conditions and a Model Experiment, *Moscow University Soil Science Bulletin*, 2019, Vol. 74, No. 5, p. 208–213. <https://doi.org/10.3103/S0147687419050053>
32. Wakita H., Nakamura Y., Kita I., Fujii N., Notsu K. Hydrogen release: new indicator of fault activity, *Science*, 1980, Vol. 210, p. 188–190. <https://doi.org/10.1126/science.210.4466.188>
33. Ware R.H., Roecken C., Wyss M. The detection and interpretation of hydrogen in fault gases, *Pure and Applied Geophysics*, 1984, Vol. 122, p. 392–402. <https://doi.org/10.1007/BF00874607>
34. Zgonnik V., Beaumont V., Deville E., Larin N., Pillot D., Farrell K.M. Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA), *Progress in Earth and Planetary Science*, 2015, Vol. 2, p. 31. <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0062-5>
35. Zgonnik V. The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review, *Earth-Science Reviews*, 2020, Vol. 203, p. 103140. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140>

Received 17 June 2022

Accepted 17 October 2022

Published 01 November 2022

About the author(s):

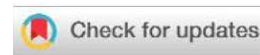
Sukhanova Natalia Ivanovna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Soil Chemistry Department, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia); vogudin@yandex.ru

Kiryushin Alevey Valereivich – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, the Soil Chemistry Department, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia); akiriushin@mail.ru

The author(s) read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 А. В. Баженов , Е. Ю. Яковлев , С. А. Игловский , С. В. Дружинин 

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова (ФИЦКИА) УрО РАН, Набережная Северной Двины, 23, г. Архангельск, 163000, Россия.

E-mail: abv-2009@yandex.ru

Цель исследования: провести анализ радиоэкологического состояния почв в городе Мезень и посёлке Каменка (Мезенский район Архангельской области) и выявить на их территории малоинтенсивные аномалии по удельному содержанию ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в почве.

Место и время проведения. Экспедиционные работы проведены летом 2021 года на территории города Мезень, посёлка Каменка и их окрестностей (Мезенский район Архангельской области).

Методология. Для выполнения поставленной задачи опробовали 68 точек на территории г. Мезень, п. Каменка и их окрестностей, где отобрали образцы из верхнего (0–5 см) слоя почв (урбиквазизёмов, культурозёмов и реплантозёмов). В лабораторных условиях пробы высушивали до воздушно-сухого состояния и помещали в сосуд Маринелли для измерения удельной активности изотопов методом гамма-спектрометрии. Регистрацию гамма-излучений от счётного образца почв и обработку спектров проводили с использованием программно-аппаратурного комплекса «Прогресс-гамма» ФВКМ.412131.002-03. Калибровку гамма-спектрометра по энергии проводили после каждого измерения с использованием комбинированного контрольного источника ОИСН-137-1. Минимальное время экспонирования счётного образца составляло 3600 секунд.

Основные результаты. Удельная активность техногенного ^{137}Cs в верхнем (0–5 см) слое почвы изменялась от 1,6 до 24,2 Бк/кг в г. Мезень и от 2,4 до 26,1 Бк/кг в п. Каменка, при средних значениях 5,88 и 8,27 Бк/кг соответственно. При этом наблюдалась более высокая активность этого радионуклида в почвах п. Каменка по сравнению с почвами г. Мезень. Для ^{226}Ra и ^{232}Th также выявили более высокие активности в почвах п. Каменка. Удельное содержание ^{40}K в исследованных городских почвах практически равномерное. Удельная активность техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в верхнем 5-ти сантиметровом слое почв на пастбищах и покосах сопоставима с городскими почвами г. Мезень и п. Каменка. В неподверженном антропогенному воздействию лесных почвах удельная активность ^{137}Cs более чем в 3 раза выше и достигает 65,4 Бк/кг. Для ^{226}Ra и ^{232}Th установлены более высокие активности в почвах п. Каменка, что связано с гранулометрическим составом и характером подстилающих почву четвертичных отложений. Удельное содержание ^{40}K в исследованных почвах практически равномерное. Анализ пространственного распределения удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th выявил, что малые локальные аномалии (МЛА) ^{137}Cs ($T_{1/2}=30,17$ лет) приурочены к парковой зоне центральной и южной части г. Мезень (4 МЛА). МЛА естественных радионуклидов ^{226}Ra ($T_{1/2}=1590$ лет), ^{232}Th ($T_{1/2}=1,41 \cdot 10^{10}$ лет) и ^{40}K ($T_{1/2}=1,3 \cdot 10^9$ лет) выявлены, в основном, в луговых дерновых почвах на западной окраине города (Набережная им. В.И. Ленина), в районах одноэтажной застройки (частный сектор), вдоль берега р. Това, а также в районе аэропорта. На остальной территории г. Мезень измеренные концентрации исследованных радионуклидов минимальны. Схожее пространственное распределение исследованных радионуклидов в верхнем горизонте почв г. Мезень характерно и для п. Каменка. Максимальные значения активности ^{137}Cs так же выявлены в почвах парковых зон, неподверженных интенсивному антропогенному воздействию, в юго-западной части посёлка, вдоль ул. Комарова. Для ^{226}Ra и ^{232}Th характерны повышенные концентрации на окраинах посёлка, в районе улиц Заводской, Гагарина и Шелгунова на севере и ул. Южная на юге посёлка. Распределение ^{40}K практически равномерно по всей исследованной территории, включая не только окраины, но и центральную часть посёлка.

Заключение. Содержание естественных и техногенных радионуклидов в городских почвах г. Мезень и п. Каменка не превышает предельно допустимых концентраций, характерных для городских поселений Архангельской области. Более высокую активность ^{137}Cs в почвах п. Каменка по сравнению с почвами в г. Мезень можно объяснить разной степенью антропогенного воздействия на почвы в этих населённых пунктах; МЛА ^{137}Cs в почвах парков и скверов обусловлены минимальной степенью антропогенного воздействия на почву, при этом дерновый слой почв прочно фиксирует

поступающий из атмосферы ^{137}Cs гуминовыми кислотами. МЛА радия и тория в луговых городских почвах тесно связаны с подстилающими песчаными четвертичными отложениями, концентрирующими эти элементы. МЛА калия в данных районах вероятнее всего связана с большой плотностью травянистой растительности, легко вовлекающей этот элемент в биологический круговорот и способствующей его аккумуляции в верхнем почвенном горизонте.

Ключевые слова: радиоактивность; городские почвы; ^{137}Cs ; ^{40}K ; ^{226}Ra ; ^{232}Th ; город Мезень; посёлок Каменка; Мезенский район; Архангельская область

Цитирование: Баженов А.В., Яковлев Е.Ю., Изловский С.А., Дружинин С.В. Радиоэкологические исследования городских почв в Архангельской области // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 3. е182. DOI: [10.31251/pos.v5i3.182](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.182)

ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивность окружающей среды и связанное с ней внешнее облучение, вызванное гамма-излучением, зависят в первую очередь от геологических и географических условий (UNSCEAR..., 2000). Фоновое облучение для жителей Северо-Западного региона Российской Федерации (РФ) от всех источников радиации составляет 2,9 м³/год, в том числе техногенного происхождения (последствия аварий, испытания ядерного оружия, работа АЭС) – 0,1 м³/год (Промышленный Север..., 2004). Изучение радиоактивности имеет важнейшее значение для оценки экологического состояния данной территории, т.к. регион с момента начала атомной эры, подвергнулся существенному воздействию техногенной радиоактивности, имевшей глобальные и локальные источники (UNSCEAR..., 2000).

Основными источниками техногенной радиоактивности для данной территории являются: а) глобальные (стратосферные) выпадения в результате атмосферных ядерных испытаний; б) локальные (тропосферные) выпадения в результате испытаний, проводимых на единственном в Арктике ядерном полигоне на Новой Земле с 1955 по 1990 годы; в) поступление в арктические моря техногенных радионуклидов от западноевропейских радиохимических заводов Великобритании и Франции; г) последствия Чернобыльской катастрофы 1986 года, обнаруженные в Арктике (Łokas et al., 2013; Povinec et al., 2013; Thakur et al., 2013; Miroshnikov et al., 2017; Chen et al., 2017; Matishov et al., 2019; Swanek et al., 2020; Saniewski et al., 2020). Дополнительными источниками поступления техногенных радионуклидов на Европейский Север являлись прямые выбросы с радиохимических заводов, расположенных на Урале и Сибири (Vakulovsky et al., 2003).

В последние десятилетия проблема загрязнения городских почв привлекает к себе внимание ученых во всем мире (Крячюнас, 2008; Крячюнас, Шахова, 2016). Формирование городских почв происходит путем трансформации материала естественной почвы с участием активного техноседиментогенеза, что находит свое отражение в нарушении природных процессов миграции радионуклидов (РН) и обуславливает сложную структуру загрязнения почв естественными и техногенными РН. Процесс оценки радиационного состояния территорий и особенностей распределения РН в городских почвах осложняется отсутствием утвержденных нормативов почвенного содержания РН и общепринятой классификации городских почв (Апарин и др., 2015). Принимая во внимание тот факт, что подавляющая часть населения арктических территорий проживает в городах (Тяжелые металлы..., 2015), и, учитывая значительный вклад почвы в формирование эффективной дозы облучения человека (Габлин и др., 2010), получение новых данных о РН почв в населенных пунктах арктических территорий России является актуальной задачей.

Объектом исследования послужили почвы основных функциональных зон исследуемых городских поселений. Предметом исследования являлась удельная активность ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в почвах г. Мезень, п. Каменка и их окрестностей.

Цель исследования – провести анализ радиоэкологического состояния почв г. Мезень и п. Каменка и выявить на данной территории малоинтенсивные аномалии по удельному содержанию ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в почве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В июне 2021 года сотрудники лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии ФИЦКИА им. Н.П. Лаверова УрО РАН провели экспедиционные работы по исследованию естественной и техногенной радиоактивности городских почв на территории города Мезень и посёлка Каменка (Мезенский район Архангельской области).

Город Мезень – административный центр Мезенского района, расположен на правом берегу р. Мезень при впадении в неё р. Това, в 45 км от Белого моря, в 390 км от г. Архангельск. Напротив города Мезень находится посёлок Каменка (рис. 1).

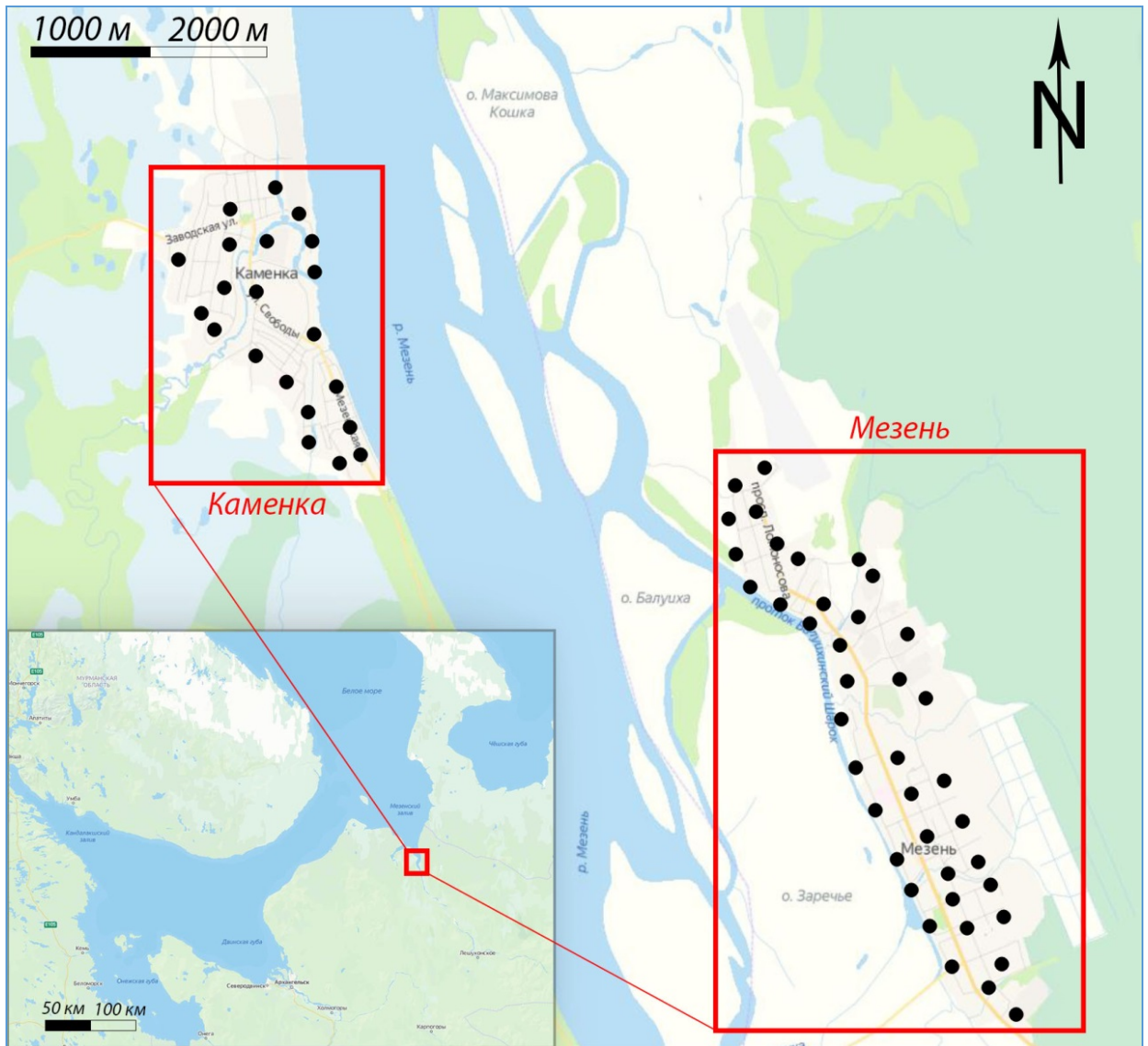


Рисунок 1. Схема мест отбора проб почвы в г. Мезень и п. Каменка (2021 г.).

В геоморфологическом плане объекты исследований располагаются на озёрно-ледниковой аккумулятивной равнине, включающей торфяники и аллювиальные отложения; на данной территории преобладают аллювиально-дерновые, дерново-глеевые и аллювиально-болотные почвы. Растительный покров представлен пойменными, преимущественно разнотравно-крупнозлаковыми видами, кустарниками и лесами, а также посевами сельскохозяйственных культур. Регион относится к районам Крайнего Севера и расположен вблизи границы умеренного и субарктического климатических поясов, зон тайги и лесотундры; находится вне пределов распространения многолетнемерзлых пород (Атлас Архангельской области..., 1976). На территории городских поселений г. Мезень и п. Каменка широкое распространение получили урбиквазизёмы, индикатором которых служит генетический горизонт «урбик».

Ранее отмечались факты загрязнения природных вод нефтепродуктами с превышением ПДК в десятки и сотни раз со складов ГСМ в г. Мезень и п. Каменка. Все техногенные воздействия в районе исследования подразделены на два вида: 1) воздействия, связанные с традиционными прибрежными промыслами (собираательством, охотничьим промыслом, пастбищным животноводством), направленными главным образом на использование биоресурсного потенциала ландшафтов; 2) антропогенные воздействия, связанные с производством и урбанизацией. Основные источники второго типа (предприятия, объекты коммунального хозяйства, автомобильные дороги) имеют незначительный (хаотичный или линейный) характер распространения и в исследуемом районе приурочены в основном к поселениям на побережье Мезенского залива Белого моря (Иглоцкий, 2008).

За экспедиционный период было отобрано 68 почвенных проб в г. Мезень, п. Каменка и их окрестностях (рис. 1). Отбор проводили из верхнего (0–5 см) слоя почв с составлением краткого почвенно-морфологического описания. Исследуемые почвы представлены типичными городскими почвами группы квазизёмы: урбиквазизёмы и реплантозёмы (Крячюнас и др., 2020).

Отбор, хранение и транспортировку проб почв осуществляли в соответствии с (ГОСТ 17.4.4.02-2017). В лабораторных условиях пробы высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. После взвешивания пробы помещали в сосуд Маринелли для измерения удельной активности изотопов методом гамма-спектрометрии. Регистрация гамма-излучений от счетного образца почв, а также обработка спектров проводили с использованием программно-аппаратурного комплекса «Прогресс-гамма» ФВКМ.412131.002-03. Калибровка гамма-спектрометра по энергии для контроля за сохранностью параметров установки проводили после каждого измерения с использованием комбинированного контрольного источника ОИСН-137-1 в сосуде Маринелли. Минимальное время экспонирования счетного образца составило 3600 секунд. Однако в зависимости от активности пробы время экспонирования в отдельных образцах со слабой активностью увеличивали. Погрешность измерений составляла от 10 до 15% (Методика..., 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что на большей части территории г. Мезень широкое распространение получили урбиквазизёмы, индикатором которых служит генетический горизонт «урбик». Данный горизонт характеризуется тем, что содержит не менее 10% антропогенных включений (строительный и бытовой мусор, угли, слабо разложившиеся растительные остатки и др.). Культурозёмы, как основная подгруппа городских почв, получили развитие в старых городских парках и на приусадебных участках, в кварталах с индивидуальной деревянной застройкой. Другая подгруппа искусственно созданных городских почв – реплантозёмы – в основном представлена на газонах в кварталах с каменной и деревянной многоквартирной застройкой. Наиболее развитый почвенный профиль наблюдается под участками с древесной и кустарниковой растительностью, в парковых зонах и на прибрежных участках.

Для сравнительного анализа были отобраны пробы из верхнего (0–5 см) слоя почв фоновых площадок на сенокосах и пастбищах Мезенского района, а также лесных почв в районе р. Пёза в 60 км от г. Мезень, не подверженных антропогенному воздействию.

Удельная активность ^{137}Cs в верхнем слое почв изменяется от 1,6 до 24,2 Бк/кг в г. Мезень и от 2,4 до 26,1 Бк/кг в п. Каменка, при средних значениях 5,88 и 8,27 Бк/кг соответственно. Установлена более высокая активность этого радионуклида в почвах п. Каменка, относительно г. Мезень (рис. 2). Данную закономерность можно объяснить разной степенью антропогенного воздействия на почвы в исследованных населённых пунктах. Для ^{226}Ra и ^{232}Th также отмечена более высокая активность в почвах п. Каменка, что связано с их гранулометрическим составом и характером подстилающих четвертичных отложений. Удельное содержание ^{40}K в почвах исследуемого региона практически равномерное.

Удельная активность техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в верхнем слое почв сенокосов и пастбищ была сопоставима с городскими почвами г. Мезень и п. Каменка, а в неподверженных антропогенному воздействию лесных почвах удельная активность ^{137}Cs более чем в 3 раза выше и достигает 65,4 Бк/кг (рис. 3).

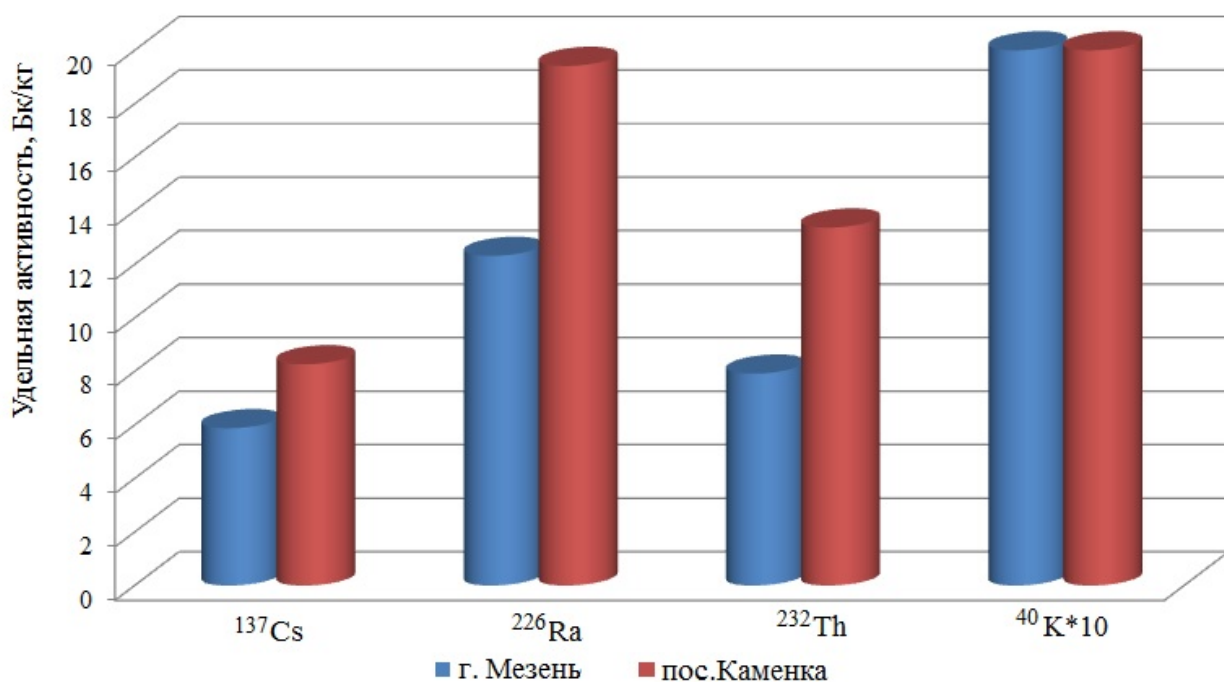


Рисунок 2. Удельная активность ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K (Бк/кг) в городских почвах г. Мезень и п. Каменка (средние значения, 2021 г.).

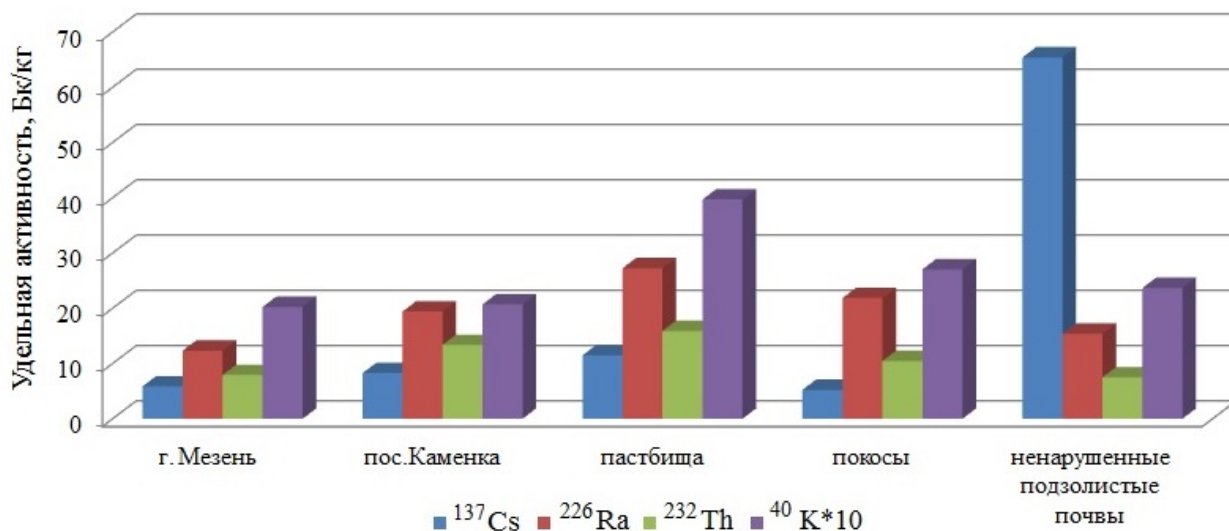


Рисунок 3. Удельная активность ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K (Бк/кг) в почвах г. Мезень, п. Каменка и их окрестностях (средние значения, 2021 г.).

Пространственное распределение техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в верхнем слое почв исследованных территорий демонстрируется на рисунках 4–5.

Максимальные значения активности ^{137}Cs приурочены к парковой зоне центральной и южной части г. Мезень, вдоль Советского проспекта. Максимальные значения активности естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K выявлены в основном в луговых дерновых почвах на западной окраине города (Набережная имени В.И. Ленина), в районах одноэтажной застройки (частный сектор), вдоль берега р. Това а также в районе аэропорта г. Мезень. На остальной территории г. Мезень измеренные концентрации исследованных радионуклидов минимальны.

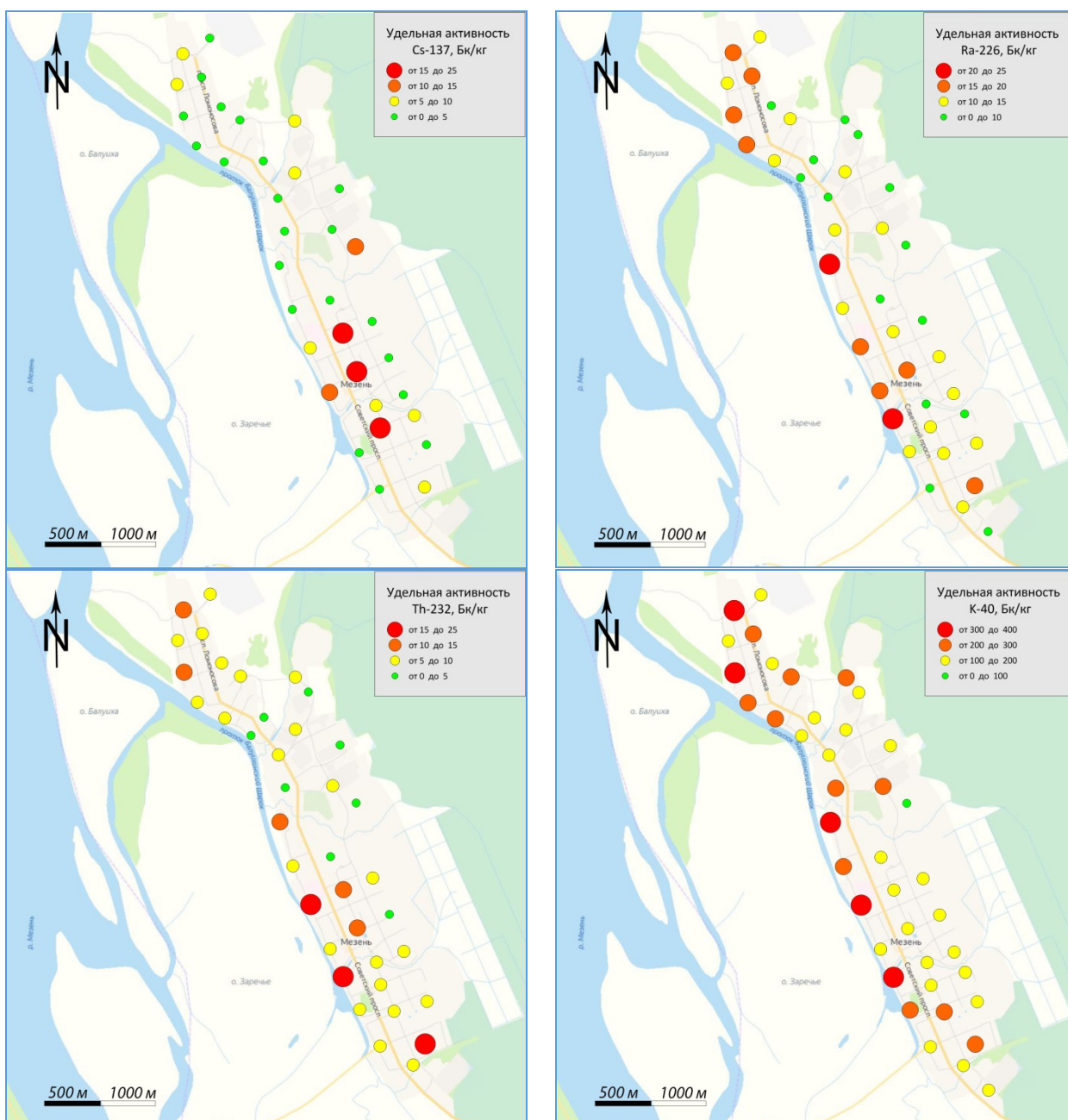


Рисунок 4. Пространственное распределение удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в верхнем слое почвы г. Мезень (2021 г.).

Аналогичное пространственное распределение исследованных радионуклидов в верхнем почвенном слое характерно и для почв п. Каменка. Максимальные значения активности ^{137}Cs так же выявлены в почвах парковых зон не подверженных интенсивному антропогенному воздействию, в юго-западной части п. Каменка, вдоль ул. Комарова. Для ^{226}Ra и ^{232}Th характерны повышенные концентрации на окраинах посёлка: в районе улиц Заводская, Гагарина и Шелгунова на севере и ул. Южная на юге. Распределение ^{40}K практически равномерно по всей исследованной территории, включая не только окраины, но и центральные части посёлка (рис. 5).

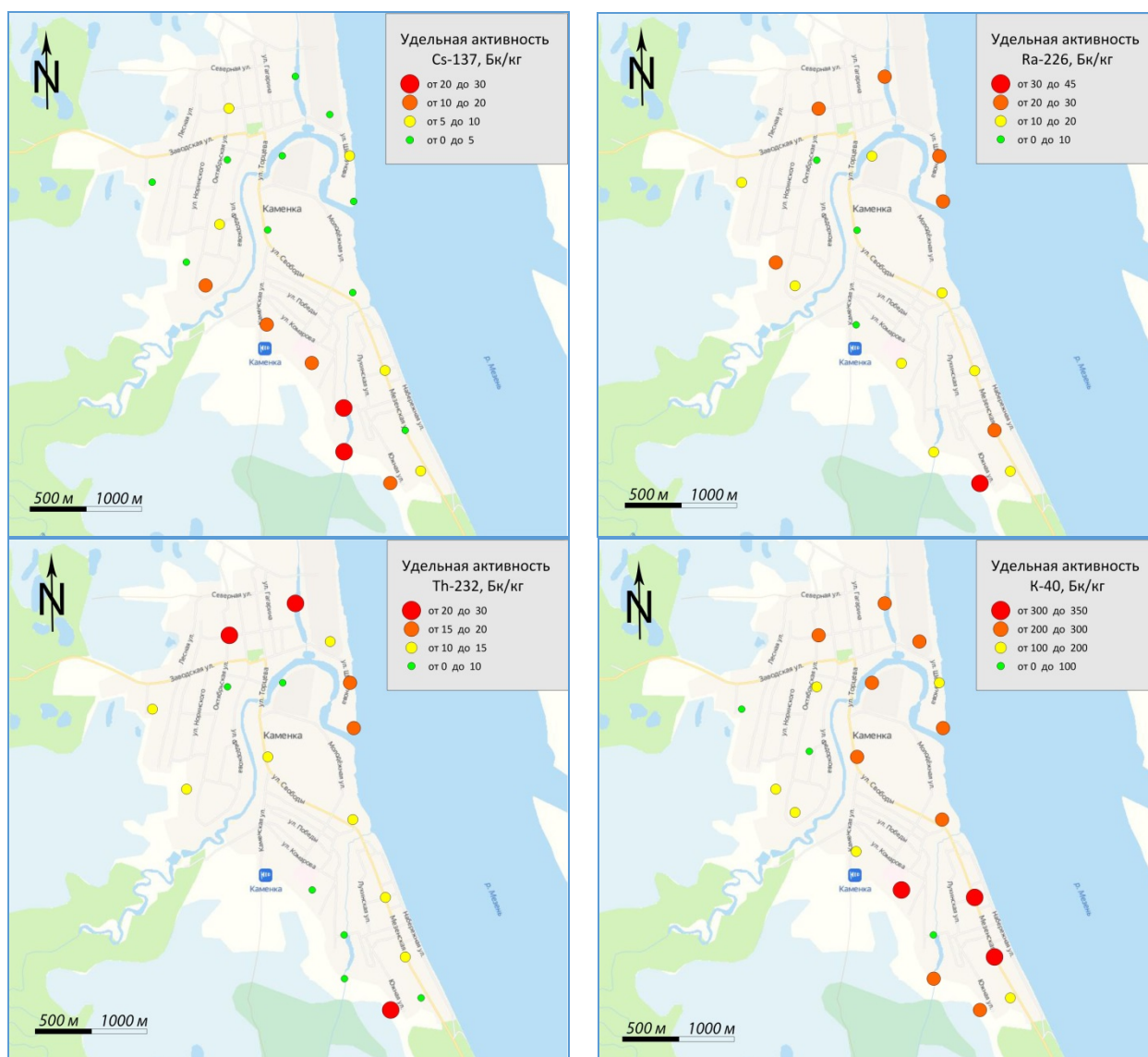


Рисунок 5. Пространственное распределение удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в верхнем слое почв п. Каменка (2021 г.).

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований показали, что содержание и особенности распределения естественных и техногенных радионуклидов в городских почвах г. Мезень и п. Каменка не превышает предельно допустимых концентраций. При этом наблюдаются более высокие активности ^{137}Cs в почвах п. Каменка относительно г. Мезень. Данную закономерность можно объяснить разной степенью антропогенного воздействия на почвы в обследованных населённых пунктах. Для ^{226}Ra и ^{232}Th также установлены более высокие активности в почвах п. Каменка, что связано с гранулометрическим составом и характером подстилающих почвообразующих пород. Удельное содержание ^{40}K во всех исследуемых почвах практически одинаковое и равномерное.

Анализируя пространственное распределение удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th , можно отметить, что максимальные значения активности приурочены к парковой зоне центральной и южной части г. Мезень, вдоль Советского проспекта. Это связано с тем, что в парках и скверах степень антропогенного воздействия на почву минимальна, а дерновый слой почв прочно фиксирует гуминовыми кислотами поступающий из атмосферы ^{137}Cs .

Максимальные значения активности естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K выявлены в основном в луговых дерновых почвах на западной окраине города (Набережная имени

В.И. Ленина), в районах одноэтажной застройки (частный сектор), вдоль берега р. Това, а также в районе аэропорта. На остальной территории города, измеренные концентрации исследованных радионуклидов минимальны.

Установленное пространственное распределение исследованных радионуклидов характерно для верхнего (0–5 см) слоя почв г. Мезень и п. Каменка. Максимальные значения активности ^{137}Cs так же выявлены в почвах парковых зон, не подверженных интенсивному антропогенному воздействию, в юго-западной части посёлка, вдоль ул. Комарова. Для ^{226}Ra и ^{232}Th характерны повышенные концентрации на окраинах посёлка: в районе улиц Заводская, Гагарина и Шелгунова на севере и ул. Южная на юге. Распределение ^{40}K практически равномерно по всей исследованной территории, включая не только окраины, но и центральные части посёлка.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследования выполнены по теме ФНИР «Особенности миграции элементов и их изотопов в абиотических компонентах окружающей среды Западного сектора Российской Арктики в условиях климатических и техногенных изменений» № 122011300333-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Классификация городских почв в системе Российской и международной классификации почв // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2015. Вып. 79. С. 53–72. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-79-53-72>
2. *Атлас Архангельской области* / Под ред. А.Г. Исаченко, Н.А. Моргуновой, Н.М. Терехова и др. М.: Издво Главного управления геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1976. 72 с.
3. Габлин В.А., Парамонова Т.И., Вербова Л.Ф., Габриелян С.В., Митронова Ю.Н. Состав почв и вопросы радиационного нормирования // *Известия высших учебных заведений (ИВУЗ). Геология и разведка*. 2010. № 6. С. 62–67.
4. *ГОСТ 17.4.4.02-2017*. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
5. Игловский С.А. Техногенные изменения геоэкологических условий двинско-мезенской равнины и полуострова Канин // *Криосфера Земли*. 2008. Т. 12. № 1. С. 24–28.
6. Крячюнас В.В. *Естественная и техногенная радиоактивность почв Архангельской промышленной агломерации*. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2008. 24 с.
7. Крячюнас В.В., Киселев Г.П. ^{137}Cs в верхних почвенных горизонтах г. Архангельска // *Экология* 2003: матер. конф. Архангельск, 2003. С. 43–44.
8. Крячюнас В.В., Кузнецова И.А., Котова Е.И., Игловский С.А., Мироненко К.А., Суханов С.Г. Содержание и особенности распределения естественных и техногенных радионуклидов в почвах малого арктического города // *Экология человека*. 2020. Т. 27. № 5. С. 11–20. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-5-11-20
9. Крячюнас В.В., Шахова Е.В. *Радиологические исследования на территории города Архангельска* // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: матер. конф. Томск, 2016. С. 360–363.
10. *Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс»*. Москва: ООО НТЦ «Амплитуда», 2016. 12 с. <http://amplituda.ru/services/metodicheskoe-obespechenie/mvi/metodika-izmereniya-aktivnosti-radionuklidov-s-ispolzovaniem-stsintillyatsionnogo-gamma-spektrometra-s-programmnym-obespecheniem-progress/>
11. *Промышленный Север. Атомные технологии и среда обитания*. Москва: Комтехпринт, 2004. 40 с.
12. Сибирякова И.А. *Ретроспективный и ландшафтный анализ города Мезени* // Молодой Учёный: сб. статей V Междунар. науч.-исслед. конкурса. Пенза, 2022а. С. 80–84.
13. Сибирякова И.А. *Анализ формирования силуэта города Мезени* // Лучшие научные исследования 2022: сб. статей IV Междунар. науч.-исслед. конкурса. Пенза, 2022б. С. 71–76.
14. *Тяжелые металлы в почвах Карелии*: монография / Н.Г. Федорцев [и др.]. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 222 с.
15. Chen J., Zhang W., Sadi B., Wang X., Muir D.C.G. Activity concentration measurements of selected radionuclides in seals from Canadian Arctic // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017. Vol. 169–170. P. 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.12.015>
16. Cwanek A., Mietelski J.W., Łokas E., Olech M.A., Anczkiewicz R., Misiak R. Sources and variation of isotopic ratio of airborne radionuclides in Western Arctic lichens and mosses // *Chemosphere*. 2020. Vol. 239. P. 124783. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124783>

17. Łokas E., Mietelski J.W., Ketterer M.E., Kleszcz K., Wachniew P., Michalska S., Miecznik M. Sources and vertical distribution of ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am in peat profiles from southwestern Spitsbergen // *Applied Geochemistry*. 2013. Vol. 28. P. 100–108. 10.1016/j.apgeochem.2012.10.027
18. Matishov G.G., Kasatkina N.E., Usyagina I.S. Technogenic Radioactivity of Waters in the Central Arctic Basin and Adjacent Water Areas // *Doklady Earth Sciences*. 2019. Vol. 485. P. 288–292. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19030073>
19. Miroshnikov A.Y., Laverov N.P., Chernov R.A., Kudikov A.V., Ysacheva A.A., Semenov I.N., Aliev R.A., Asadulin E.E., Gavrilov M.V. Radioecological investigations on the Northern Novaya Zemlya Archipelago // *Oceanology*. 2017. Vol. 57. P. 204–214. <https://doi.org/10.1134/S000143701701009X>
20. Povinec P.P., Gera M., Holy K., Hirose K., Lujaniene G., Nakano M., Plastino W., Sykora I., Bartok J., Gažak M. Dispersion of Fukushima radionuclides in the global atmosphere and the ocean // *Applied Radiation and Isotopes*. 2013. Vol. 81. P. 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.03.058>
21. Saniewski M., Wietrzyk-Pelka P., Zalewska T., Olech M., Węgrzyn M.H. Bryophytes and lichens as fallout originated radionuclide indicators in the Svalbard archipelago (High Arctic) // *Polar Science*. 2020. Vol. 25. P. 100536. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100536>
21. Thakur P., Ballard S., Nelson R. An overview of Fukushima radionuclides measured in the northern hemisphere // *Science of The Total Environment*. 2013. Vol. 458–460. P. 577–613. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.105>
23. Vakulovsky S.M. *Estimation and prediction of the consequences for the environment and population of radioactive contamination of the river Yenisei by discharges of the Krasnoyarsk mining and chemical industrial complex*. Final project technical report of International Science and Technology Centre (ISTC) Project 1404. Obninsk: SPA-Тyphoon, 2003. P. 77.
24. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) *Report 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations*. New York, 2000.

Поступила в редакцию 06.05.2022

Принята 26.09.2022

Опубликована 26.09.2022

Сведения об авторах:

Баженов Александр Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); abv-2009@yandex.ru

Яковлев Евгений Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); yakov24lev99@mail.ru

Игловский Станислав Анатольевич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); iglovskys@mail.ru

Дружинин Сергей Валерьевич – научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); druzhininserg@yandex.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

RADIOECOLOGICAL INVESTIGATIONS OF URBAN SOILS IN THE ARKHANGELSK REGION

© 2022 A. V. Bazhenov , E. Yu. Yakovlev , S. A. Iglovsky , S. V. Druzhinin 

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FECIAR UrB RAS), Arkhangelsk, Russia. E-mail: abv-2009@yandex.ru

The aim of the study: to analyze the radioecological status of soils in the Mezen city and the Kamenka village (Mezensky district of the Arkhangelsk region) and to identify low-intensity anomalies in soil ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K specific content on the studied territory.

Location and time of the study. Field work was carried out in the summer of 2021 on the territory of the Mezen city and Kamenka village and their environs (Mezensky district of the Arkhangelsk region).

Methodology. To accomplish the task, the soil from the upper 5 cm layer of Urbikvizems, Culturozems and Replantozems at 68 sites was sampled in the study area. Under laboratory conditions, the samples were air-dried and placed in Marinelli vessels to measure specific activity of isotopes by gamma spectrometry. The registration of gamma radiation from a soil sample, as well as the processing of the spectra, was carried out using the Progress-gamma software and hardware complex FVKM.412131.002-03. The energy calibration of the gamma spectrometer was carried out after each measurement using a combined control source OISN-137-1 in a 1-liter Marinelli vessel. The minimum exposure time for the counting sample was 3600 seconds.

Results. The specific activity of ^{137}Cs in the upper 5 cm layer varied from 1,6 to 24,2 Bq/kg in Mezen and from 2,4 to 26,1 Bq/kg in Kamenka, with an average value of 5,88 and 8,27 Bq/kg, respectively; higher specific activities of this radionuclide was observed in the Kamenka soils as compared with the Mezen soils. For ^{226}Ra and ^{232}Th higher activity was also observed in the Kamenka soils. The ^{40}K specific content in the urban soils of the studied area was almost uniform. The specific activity of technogenic ^{137}Cs and natural radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in the upper 5 cm of soil layer on pastures and grasslands was comparable to the urban soils in Mezen and Kamenka. In forest soils the ^{137}Cs specific activity was more than three times higher, reaching 65,4 Bq/kg. Analysis of the spatial distribution of the specific activity of technogenic ^{137}Cs and natural radionuclides ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th showed that small local anomalies (SLA) of ^{137}Cs ($T_{1/2}=30.17$ years) were confined to the park zone of the central and southern parts of Mezen, where 4 MLAs were recorded. The natural radionuclides ^{226}Ra ($T_{1/2}=1590$ years), ^{232}Th ($T_{1/2}=1,41 \cdot 10^{10}$ years) and ^{40}K ($T_{1/2}=1,3 \cdot 10^9$ years) were found mainly in meadow soddy soils on the western outskirts of the city, in areas of one-story buildings (private sector), along banks of the Tova River and also in the airport area. In the rest of the Mezen city, the measured concentrations of the studied radionuclides were minimal. The spatial distribution of the studied radionuclides, revealed in the upper soil layer in the Mezen city, was also typical for Kamenka, where SLA of ^{137}Cs were found in the soils of park areas in the southwestern part of the village without intensive anthropogenic impact. ^{226}Ra and ^{232}Th were characterized by increased concentrations on the outskirts of Kamenka in the north and south. The distribution of ^{40}K is almost uniform throughout the entire study area, including not only the outskirts, but also the central parts of the village.

Conclusions. The content of natural and technogenic radionuclides in the urban soils of the Mezen city and Kamenka village do not exceed the maximum allowable concentrations and are typical for urban settlements in the Arkhangelsk region. Higher activity of ^{137}Cs in the Kamenka soils as compared with the one in the Mezen soils can be explained by varying degrees of anthropogenic impact on soils in the studied area. SLA of ^{137}Cs in park soils are due to the minimal anthropogenic impact; moreover, the soddy soil layer firmly fixes the atmospheric input by humic acids. SLA of ^{226}Ra and ^{232}Th in the meadow soddy soils are closely associated with the underlying sandy quaternary deposits, concentrating the elements. The SLA of potassium in these areas can be explained by the dense herbaceous vegetation, which easily involves the element in the biological cycle, thus contributing to its accumulation in the upper soil horizon.

Key words: radioactivity; urban soils; ^{137}Cs ; ^{40}K ; ^{226}Ra ; ^{232}Th ; Mezen city; Kamenka village; Mezensky district; Arkhangelsk region

How to cite: Bazhenov A.V., Yakovlev E.Yu., Iglovsky S.A., Druzhinin S.V. Radioecological studies of urban soils in the Arkhangelsk region // The Journal of Soils and Environment. 2022. 5(3). e182. DOI: [10.31251/pos.v5i3.182](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.182) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Aparin B.F., Sukhacheva E.Yu. Classification of urban soils in russian soil classification system and international classification of soils, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2015, Iss. 79, p. 53–72. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-79-53-72> (in Russian)
2. *Atlas of the Arkhangelsk region* / Ed. A.G. Isachenko, N.A. Morgunova, N.M. Terekhova and al. Moscow: Publishing House of the Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1975. 72 p. (in Russian)
3. Gablin V.A., Paramonova T.I., Verbova L.F., Gabrielyan S.V., Mitronova Yu.N. Soil composition and radiation regulation, *Proceedings of higher educational establishments. Geology and exploration*, 2010, No. 6, p. 62–67. (in Russian)
4. GOST 17.4.4.02-2017. Nature protection. Soils. Methods of sampling and sample preparation for chemical, bacteriological, helminthological analysis. (in Russian)
5. Iglovsky S.A. Technogenic changes in the geocryological conditions of the Dvina-Mezenskaya plain and Kanin peninsula, *Earth's Cryosphere*, 2008, Vol. 12, No. 1, p. 24–28. (in Russian)
6. Kriauciunas V.V. *Natural and technogenic radioactivity of the soils of the Arkhangelsk industrial agglomeration*, Abstract of Dissertation ... Cand. of Geol.-min. Sci. Moscow, 2008, 24 p. (in Russian)
7. Kriauciunas V.V., Kiselev G.P. ¹³⁷Cs in the upper soil horizons of the city of Arkhangelsk. In book: Ecology 2003. Mater. Conf. Arkhangelsk, 2003, p. 43–44. (in Russian)
8. Kriauciunas V.V., Kuznetsova I.A., Kotova E.I., Iglovsky S.A., Mironenko K.A., Sukhanov S.G. Natural and technogenic radionuclides in soils in a small russian arctic town, *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*, 2020, Vol. 27, No. 5, p. 11–20. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-5-11-20 (in Russian)
9. Kriauciunas V.V., Shakhova E.V. *Radiological studies in the city of Arkhangelsk*. In book: Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Mater. Conf. Tomsk, 2016. p. 360–363. (in Russian)
10. *Method for measuring the activity of radionuclides using a scintillation gamma spectrometer with the Progress software*. Moscow: LLC NTC "Amplitude", 2016. 12 p. <http://amplituda.ru/services/metodicheskoe-obespechenie/mvi/metodika-izmereniya-aktivnosti-radionuklidov-s-ispolzovaniem-stsintillyatsionnogo-gamma-spektrometra-s-programmnym-obespecheniem-progress/> (in Russian)
11. *Industrial North. Nuclear technologies and habitat*. M.: Komtekhpriint, 2004, 40 p. (in Russian)
12. Sibiryakova I.A. *Retrospective and landscape analysis of the city of Mezen*. In book: Young Scientist. Collection of articles of the V International Research Competition. Penza, 2022a, p. 80–84. (in Russian)
13. Sibiryakova I.A. *Analysis of the formation of the silhouette of the city of Mezen*. In book: Best Scientific Research 2022. Collection of articles of the IV International Research Competition. Penza, 2022b, p. 71–76. (in Russian)
14. *Heavy metals in the soils of Karelia: monograph* / N.G. Fedorets [et al.]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2015, 222 p. (in Russian)
15. Chen J., Zhang W., Sadi B., Wang X., Muir D.C.G. Activity concentration measurements of selected radionuclides in seals from Canadian Arctic, *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, Vol. 169–170, p. 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.12.015>
16. Cwanek A., Mietelski J.W., Łokas E., Olech M.A., Anczkiewicz R., Misiak R. Sources and variation of isotopic ratio of airborne radionuclides in Western Arctic lichens and mosses, *Chemosphere*, 2020, Vol. 239, p. 124783. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124783>
17. Łokas E., Mietelski J.W., Ketterer M.E., Kleszcz K., Wachniew P., Michalska S., Miecznik M. Sources and vertical distribution of ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu and ²⁴¹Am in peat profiles from southwestern Spitsbergen, *Applied Geochemistry*, 2013, Vol. 28, p. 100–108. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2012.10.027
18. Matishov G.G., Kasatkina N.E., Usyagina I.S. Technogenic Radioactivity of Waters in the Central Arctic Basin and Adjacent Water Areas, *Doklady Earth Sciences*, 2019, Vol. 485, p. 288–292. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19030073>
19. Miroshnikov A.Y., Laverov N.P., Chernov R.A., Kudikov A.V., Ysacheva A.A., Semenov I.N., Aliev R.A., Asadulin E.E., Gavrilov M.V. Radioecological investigations on the Northern Novaya Zemlya Archipelago, *Oceanology*, 2017, Vol. 57, p. 204–214. <https://doi.org/10.1134/S000143701701009X>
20. Povinec P.P., Gera M., Holy K., Hirose K., Lujanienė G., Nakano M., Plastino W., Sykora I., Bartok J., Gažak M. Dispersion of Fukushima radionuclides in the global atmosphere and the ocean, *Applied Radiation and Isotopes*, 2013, Vol. 81, p. 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.03.058>
21. Saniewski M., Wietrzyk-Pelka P., Zalewska T., Olech M., Węgrzyn M.H. Bryophytes and lichens as fallout originated radionuclide indicators in the Svalbard archipelago (High Arctic), *Polar Science*, 2020, Vol. 25, p. 100536. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100536>
22. Thakur P., Ballard S., Nelson R. An overview of Fukushima radionuclides measured in the northern hemisphere, *Science of The Total Environment*, 2013, Vol. 458–460, p. 577–613. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.105>
23. Vakulovsky S.M. *Estimation and prediction of the consequences for the environment and population of radioactive contamination of the river Yenisei by discharges of the Krasnoyarsk mining and chemical industrial*

complex. Final project technical report of International Science and Technology Centre (ISTC) Project 1404. Obninsk: SPA-Typhoon, 2003, p. 77.

24. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Report 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations. New York, 2000.

Received 06 May 2022

Accepted 26 September 2022

Published 26 September 2022

About the author(s):

Bazhenov Aleksandr Viktorovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic, Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia); abv-2009@yandex.ru

Yakovlev Evgeniy Yurievich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Ecological Radiology of the Institute of Geodynamics and Geology of the Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia); yakov24lev99@mail.ru

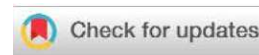
Iglovsky Stanislav Anatolyevich – Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic, Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia); iglovskys@mail.ru

Druzhinin Sergey Valerievich – Researcher, Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic, Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia); druzhininserg@yandex.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



ПРОФЕССОРУ В. М. НАЗАРЬОКУ – 80 ЛЕТ!

© 2022 В. Н. Якименко 

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru

В статье приведены основные сведения о профессиональной деятельности известного российского агрохимика, доктора биологических наук, профессора Владимира Митрофановича Назарюка. Плодотворно работая в ИПА СО РАН практически со дня его основания по настоящее время, он более пятидесяти лет посвятил решению актуальных проблем агрохимии, экологии и почвоведения, внося существенный вклад в развитие этих наук.

Ключевые слова: Назарюк Владимир Митрофанович; научная деятельность; агрохимия; экология

Цитирование: Якименко В.Н. Профессору В.М. Назарюку – 80 лет! // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 3. с183. DOI: [10.31251/pos.v5i3.183](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.183)



01 июня 2022 года исполнилось 80 лет Владимиру Митрофановичу Назарюку – доктору биологических наук, профессору, известному российскому специалисту в области агрохимии и питания растений.

В.М. Назарюк родился в д. Межовка Кыштовского района Новосибирской области, там же окончил имевшуюся в то время семилетнюю школу, а среднее образование получил в с. Верх-Тарка.

Свой трудовой путь начинал разнорабочим и бетонщиком на стройке; затем, после окончания школы киномехаников, работал по этой специальности вплоть до призыва в армию. Проходил службу в рядах Советской Армии в 1961-64 годах. После определенных сомнений и поисков в выборе профессии, поступил в 1966 году в Кишиневский государственный университет, который успешно окончил в 1971 году, получив специальность «почвоведение и агрохимия». В дальнейшем он решил посвятить свою жизнь служению науке; в итоге его вклад в развитие российской и сибирской агрохимии трудно переоценить.

После окончания университета В.М. Назарюк поступил на работу в Институт почвоведения и агрохимии СО АН СССР (СО РАН), где и работает по настоящее время, пройдя путь от старшего лаборанта до заведующего лабораторией и главного научного сотрудника; с 1990 по

2015 годы возглавлял лабораторию агрохимии. В 1980 г. защитил кандидатскую диссертацию «Агрохимические аспекты построения системы удобрения овощных культур в Западной Сибири», а в 1991 г. – докторскую – «Азот в системе почва-удобрение-растение при возделывании овощных культур и картофеля в Западной Сибири». В 1987 году ему было присвоено ученое звание старший научный сотрудник, а в 2012 году – профессор по специальности «агрохимия».

В.М. Назарюка отличает многоплановость проводимых исследований; круг его научных интересов охватывает широкий спектр актуальных вопросов агрохимии, экологии, почвоведения, физиологии растений, фундаментальных и прикладных проблем пограничных с этими науками областей. Им выявлен новый механизм различной устойчивости гумуса автоморфных почв к минерализации, позволяющий объяснить противоречия, возникающие при изучении процессов гумификации и минерализации органических соединений. Раскрыты причины различной азотмобилизующей способности растений в связи со свойствами почв, особенностями климата и потенциалом их генотипа. Обоснована необходимость перехода на принципиально новую модель агроэкосистемного подхода при разработке критических уровней содержания гумуса и зольных элементов в почве в условиях богарного и орошаемого земледелия. Оценено поведение азота микроббиомассы и “экстра”-азота в зависимости от условий питания растений азотом и зольными элементами; установлена роль растительных остатков различного химического состава в формировании баланса и трансформации в почве азотсодержащих соединений, меченных ^{15}N . На основе использования симбиотических мутантов разработан новый метод оценки эффективности бобово-ризобияльного симбиоза, выявлена роль генотипа макросимбионта в регулировании баланса углерода и азота в почве. Разработан новый метод расчета доз удобрений под планируемый урожай культур, обоснованы пути регулирования баланса азота и зольных элементов в почве, дана экологическая оценка воздействия удобрений на окружающую среду. Вскрыты особенности экологически обоснованного питания растений азотом и зольными элементами на эродированных почвах. Дано теоретическое обоснование и показаны возможности сохранения устойчивого функционирования агроэкосистем при загрязнении почв нитратами, нефтью и тяжелыми металлами. Установлены особенности диагностики азотного питания растений при многолетнем использовании минеральных удобрений и растительных остатков. Выявлена роль лесных, травянистых экосистем и удобрений в восстановлении плодородия выпаханых почв. Обоснована эволюционно-генетическая концепция регулирования почвенного плодородия эродированных лугово-черноземных почв, установлена специфика минерального питания растений на полугидроморфных почвах, разработаны критерии оценки почвенного плодородия, выявлены особенности функционирования циклов биогенных элементов и найдены возможности по их регулированию. Проведенные юбиляром многолетние исследования имеют важное теоретическое и практическое значение, их результаты могут использоваться при разработке мероприятий по сохранению почвенного плодородия, проведении мониторинга экологического состояния окружающей среды и обосновании моделей минерального питания растений в адаптивно-ландшафтных системах земледелия.

Результаты исследований Владимира Митрофановича Назарюка изложены в более чем 180 печатных работах; в том числе 10 монографий и свыше 80 статей в рецензируемых отечественных и зарубежных научных изданиях. Из числа основных работ можно выделить:

Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 257 с.;

Назарюк В.М. Эколого-агрохимические и генетические проблемы регулируемых агроэкосистем. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 240 с.;

Сидорова К.К., Шумный В.К., Назарюк В.М. Симбиотическая азотфиксация: генетические, селекционные и эколого-агрохимические аспекты. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», ИЦиГ СО РАН, 2006. 134 с.;

Назарюк В.М. Почвенно-экологические основы оптимизации питания растений. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 364 с.;

а также многочисленные статьи в журналах Агрохимия, Экология, Почвоведение, Сельскохозяйственная биология, Известия РАН, Доклады РАН, Доклады Академии наук и др.

В.М. Назарюк в качестве автора или соавтора принимал участие в разработке около 10 методических рекомендаций, которые эффективно использовались в хозяйствах Новосибирской, Кемеровской, Томской, Челябинской областей, Красноярского и Алтайского краев, зоне БАМ. Авторские «Рекомендации по применению удобрений под овощные культуры и картофель в

условиях Западной Сибири и зоны БАМ» были приняты на уровне Министерства плодовоовощного хозяйства СССР и рекомендованы для широкого их внедрения. Совместно с ИЦИГ СО РАН был получен патент на изобретение метода оценки симбиотической азотфиксации.

Следует отметить и его значительный вклад в популяризацию науки, подготовку научных кадров. В.М. Назарюк был организатором и активным участником многих Всесоюзных, Российских и сибирских научных конференций; на протяжении ряда лет являлся руководителем Сибирского почвенно-агрохимического семинара, на котором обсуждались фундаментальные и прикладные вопросы агрохимии и почвоведения, насущные проблемы сельскохозяйственной отрасли сибирского региона, обменивались мнениями сотрудники институтов Сибири и Дальнего Востока. Под его руководством было защищено несколько диссертаций по специальности агрохимия; он являлся членом нескольких диссертационных советов.

За свои достижения в научной деятельности, вклад в решение ряда научных и практических проблем агрохимии, экологии и почвоведения, В.М. Назарюк удостоен различных наград, в том числе:

за достигнутые успехи в развитии народного хозяйства СССР Главный комитет ВДНХ СССР наградила в 1983 г. бронзовой медалью;

за работу «Земельные ресурсы Западной Сибири – актуальные проблемы их генезиса, использования и охраны» Президиум СО РАН в 1990 г. наградила дипломом первой степени;

за цикл работ в области почвенно-экологических основ оптимизации питания растений Президиум РАСХН наградила в 2011 г. золотой медалью им. К.К. Гедройца.

На протяжении всей своей научной деятельности Владимир Митрофанович Назарюк отличался высокой творческой активностью и работоспособностью, занимал оптимистическую жизненную позицию. Сотрудники ИПА СО РАН, его ученики, коллеги из других профильных российских организаций поздравляют Владимира Митрофановича с юбилеем, желают ему крепкого здоровья и творческого долголетия!

Поступила в редакцию 11.05.2022

Принята 11.05.2022

Опубликована 31.05.2022

Сведения об авторе:

Якименко Владимир Николаевич – доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); yakimenko@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

PROFESSOR V. M. NAZARYUK IS 80 YEARS OLD!

© 2022 V. N. Yakimenko

*Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia. E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru*

The paper provides basic information about professional activities of the famous Russian agricultural chemist, Doctor of Biological Sciences, Professor - Vladimir Mitrofanovich Nazaryuk. He has been fruitfully working at the IAA SB RAS almost from the day of its foundation. For more than fifty years he has been solving urgent problems of agrochemistry, ecology and soil science, making a significant contribution to the development of these sciences.

Key words: Nazaryuk Vladimir Mitrofanovich; scientific activities; agrochemistry; ecology

How to cite: Yakimenko V.N. Professor V.M. Nazaryuk is 80 years old! // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(3). e183. DOI: [10.31251/pos.v5i3.183](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.183) (in Russian with English abstract).

Received 11 May 2022

Accepted 11 May 2022

About the author:

Yakimenko Vladimir Nikolaevich – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); yakimenko@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)