

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
Общество почвоведов им. В.В. Докучаева

ОТРАЖЕНИЕ БИО-, ГЕО-, АНТРОПОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ПОЧВАХ И ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ

**Сборник материалов
VIII Международной научной конференции,
посвященной 95-летию
кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ**

***16–19 сентября 2025 г.,
г. Томск, Россия***

Томск
Издательство Томского государственного университета
2025

УДК 631.4(082)
ББК 40.3
О 862

Редакционная коллегия:
С.П. Кулижский (отв. ред.),
Е.В. Каллас, А.В. Родикова, К.В. Ручкина

О 862 Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове : сборник материалов VIII Международной научной конференции, посвященной 95-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ (16–19 сентября 2025 г., г. Томск, Россия) / отв. ред. С.П. Кулижский. – Томск : Издательство Томского государственного университета, 2025. – 266 с.

ISBN 978-5-907890-86-2

В сборнике представлены материалы исследований в области почвоведения, генезиса, эволюции, классификации почв и структуры почвенного покрова. Рассматриваются вопросы функций почв и почвенного покрова в наземных экосистемах. Ряд результатов изысканий посвящен земельным ресурсам, проблемам их оценки, использования и охраны.

Материалы будут полезны специалистам, которые занимаются фундаментальными и прикладными вопросами в области почвоведения, сельского хозяйства, охраны окружающей среды, рационального природопользования, а также смежных направлений.

**УДК 631.4(082)
ББК 40.3**

ISBN 978-5-907890-86-2

© Авторы статей, 2025
© Томский государственный университет, 2025

**Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
The National Research Tomsk State University
Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological System of SB RAS
Dokuchaev Soil Science Society in Russia**

**REFLECTION
OF BIO-, GEO-, ANTROPOSPHERIC
INTERACTIONS IN SOILS
AND SOIL COVER**

**Collection of materials
VIII International Scientific Conference,
dedicated to the 95th anniversary
of the opening of the first university
Department of Soil Science and Soil Ecology of TSU**

***September 16–19, 2025
Tomsk, Russian Federation***

Tomsk
Publishing House of Tomsk State University
2025

UDC 631.4(082)
LBC 40.3
O 862

Editorial team:
S.P. Kulizhskiy (Ex. Ed),
E.V. Kallas, A.V. Rodikova, K.V. Ruchkina

Reflection bio-, geo-, antroposferal interactions in soil and soil
O 862 **cover** : collection of materials VIII International Scientific Conference, dedicated to the 95th anniversary of the department of Soil Science and Soil Ecology TSU (September 16–19, 2025, Tomsk, Russian Federation) / Ex. Ed. by S.P. Kulizhskiy. – Tomsk : Publishing House of Tomsk State University, 2025. – 266 p.

ISBN 978-5-907890-86-2

Materials of research in the field of soil science, genesis, evolution, classification of soil and soil cover are presented. Issues of soil functions and soil cover in terrestrial ecosystems are considered. A number of results of research are devoted to land resource, problems of assessment, management and protection. The materials will be useful to specialists who are engaged in fundamental and applied problems in the field of soil science, agriculture, environmental protection, environmental management, and related areas.

UDC 631.4(082)
LBC 40.3

ISBN 978-5-907890-86-2

© Authors of articles, 2025
© Tomsk State University, 2025

Преподаватели-фронтовики ВОВ кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ

С.П. Кулижский, А.В. Родикова*

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия*

** rodikovaav@mail.ru*

Аннотация. В текущем 2025 г. наша страна отмечает 80-летие Победы в ВОВ. Благодаря коллективной памяти сведения об участниках военных действий постоянно пополняются и обновляются, в связи с чем у нас есть возможность не только вспомнить, но и узнать новое о людях и событиях. В представленных материалах собрана информация о преподавателях кафедры почвоведения, участвовавших в боевых действиях. Этих людей мы знаем, по большей части, с профессиональной стороны, но страницы их биографии раскрывают нам такие грани их судеб, которые заставляют задуматься и порождают глубокое уважение к этим Личностям.

Ключевые слова: фронтовики кафедры почвоведения ТГУ, 80-летие Победы в ВОВ

Teachers-veterans of the Great Patriotic War of the Department of Soil Science and Soil Ecology of TSU

S.P. Kulizhskiy, A.V. Rodikova*

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

** rodikovaav@mail.ru*

Summary. This year, 2025, our country celebrates the 80th anniversary of the Victory in the Great Patriotic War. Thanks to the collective memory, information about participants in military operations is constantly updated and updated, and therefore we have the opportunity not only to remember, but also to learn new things about people and events. The presented materials contain information about the teachers of the Department of Soil Science who participated in the fighting. We know these people, for the most part, from the professional side, but the pages of their biographies reveal to us such facets of their destinies that make us think and generate deep respect for these Personalities.

Keywords: WWII veterans of TSU Department of Soil Science, 80-th Anniversary of Victory in the Great Patriotic War

В текущем 2025 г. 95-летняя годовщина создания нашей кафедры в университете совпала с 80-летием Победы в Великой Отечественной Войне. Вклад в Победу был внесен и ее сотрудниками, в том числе преподавателями, участь которых была определена происходившими в то время трагическими событиями. Эти судьбы – одни из немногих среди миллионов граждан нашей страны, но знакомясь с их биографией и трудами, созданными до и после ВОВ, возникает совершенно новое понимание их пути, уважение не только к колоссальному вкладу в профессию, но и к стремлению преодоления жизненных трудностей.

Отправной точкой для сбора материалов послужила машинописная работа профессора Т.П. Славниной [1], которая была бережно сохранена доцентом Людмилой Ивановной Герасько и издана с небольшой редакцией в 2003 г. [2]. Благодаря скрупулезности Тамары Порфирьевны, собиравшей информацию о сотрудниках кафедры, можно восстановить многие эпизоды их жизни. Сама она, не являясь фронтовиком, тем не менее столкнулась со всеми тяготами тыловой жизни. Выпускница кафедры 1936 г., войну она встретила в Грозном, едва вступив в должность заведующей агрохимической лабораторией. Работа практически всех учреждений в это время была прекращена, и сотрудники направлены на строительство военных сооружений. Так продолжалось вплоть до сентября 1942 г., когда, получив разрешение, она покидает город. После тяжелой и долгой дороги, продлившейся почти два месяца, она возвращается в Томск. С 1944 г. ее жизнь и деятельность связаны с кафедрой почвоведения: она поступает в аспирантуру, с 1946 г. становится ассистентом кафедры, где по мере профессионального роста занимает все более высокие должностные позиции, вплоть до заведующей [2].

Кроме вышеназванного ключевого источника, немаловажными для пополнения сведений являются как документы Министерства обороны, рассекреченные в 2007 г. [3, 4], так и изданные к юбилею Победы материалы различных Общественных объединений и организаций [5–7 и др.]. Таким образом, собранная информация представляет собой некоторый микс сведений, изложенных в различных источниках, как правило дополняющих друг друга, но иногда имеющих некоторые нестыковки.

Так сложилось, что все фронтовики кафедры – ее первые выпускники (1934–1938 гг). **Степан Александрович Коляго** (рис. 1), 1936 г. выпуска, вернулся в ТГУ уже после войны, в 1946 г. Последующие годы, вплоть до 1963, он посвятил кафедре и факультету. Участвовал в ВОВ с первых дней, в 1942 г. ранен и демобилизован [2].



Рис. 1. Коляго
Степан Александрович
(10.01.1913–1974).
Фото с сайта «Память
народа» [3]

Мл. лейтенант; инженер-капитан запаса; лейтенант.

Воинская часть: 1269 стрелковый полк 382 стрелковой дивизии.

По данным с сайта Минобороны, награжден Орденом Отечественной войны II степени, Медалью «За боевые заслуги», Медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» (2) (рис. 2) [3].

После окончания ВОВ отмечен медалями «20 лет Победы в ВОВ», «25 лет Победы в ВОВ», «50 лет Вооруженных сил СССР» [1], «За трудовую доблесть» [5]

За годы, проведенные на передовой проделал значительный боевой путь (рис. 3).

Коляго Степан Александрович

Орден Отечественной войны II степени



Коляго Степан Александрович

Медаль «За боевые заслуги»



Коляго Степан Александрович

Медаль «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.»



Рис. 2. Некоторые награды
С.А. Коляго [3]

[Главная страница/Участники войны/](#)

**Коляго Степан
Александрович**

Год рождения: 1913

Действия Скриншоты документов

Поделиться

Прошел боевой путь в составе:

1269 сп

- Боевые действия в составе: 1269 сп
31.08.1941 - 31.08.1941
- Боевые действия в составе: 1269 сп
13.09.1941 - 13.09.1941
- Боевые действия в составе: 1269 сп
31.01.1942 - 31.01.1942
- Боевые действия в составе: 1269 сп
25.02.1942 - 25.02.1942
- Боевые действия в составе: 1269 сп
01.03.1942 - 05.03.1942
- Боевые действия в составе: 1269 сп
14.04.1942 - 14.04.1942
- Боевые действия в составе: 1269 сп

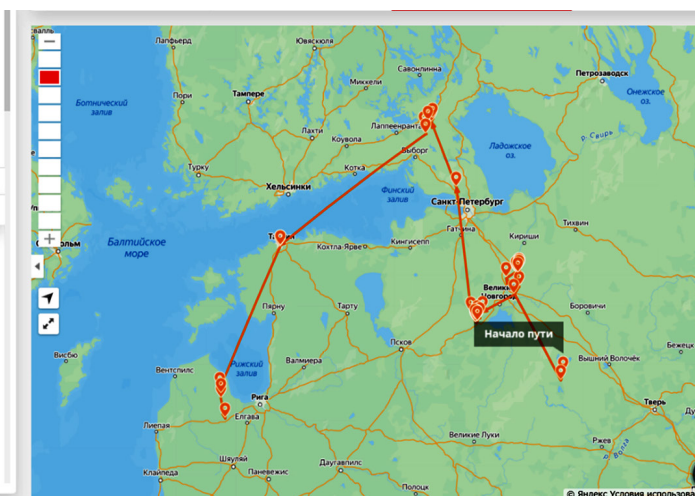


Рис. 3. Боевой путь С.А. Коляго в составе 1269 стрелкового полка [3]

Ефим Михайлович Непряхин (рис. 4), выпускник 1938 г., также был зачислен в качестве сотрудника на кафедру уже после возвращения с фронта (1945–1946 гг.). Свою трудовую деятельность он начал в качестве заведующего почвенным музеем, позднее занял должность доцента и заместителя декана геолого-почвенного (в то время) факультета. С Томским университетом его связывают 30 лет жизни [1].

Гв. старшина, старшина.

332 гвардейский стрелковый полк 104 гвардейской стрелковой дивизии [3].

Призван в октябре 1941 г.

Второй Белорусский, третий Украинский фронтовые направления. Участвовал в Курско-Орловской «Огненной дуге», 1943 г. [1].

Награжден медалью «За боевые заслуги» (рис. 5, 6)



Рис. 4. Непряхин Ефим Михайлович
(1906–1983)
Фото с сайта «Память народа» [3]



Непряхин Ефим Михайлович

Медаль «За боевые заслуги»



Наградной документ

Дата рождения: __. __. 1906

Наименование военкомата: Томский ГВК,
Новосибирская обл., г. Томск

Дата и место призыва: Томский ГВК, Новосибирская
обл., г. Томск

Дата поступления на службу: 10.10.1941

Воинское звание: гв. старшина

Кто наградил: 332 гв. сп 104 гв. сд

Наименование награды: Медаль «За боевые заслуги»

Номер документа: 16/н

Дата документа: 06.05.1945

Место призыва: Томский ГВК, Новосибирская обл., г.
Томск

Приказ подразделения

№: 16/н от: 06.05.1945

Издан: 332 гв. сп 104 гв. сд

[Информация об архиве+](#)

Рис. 5. Награда
Е.М. Непряхина [3]

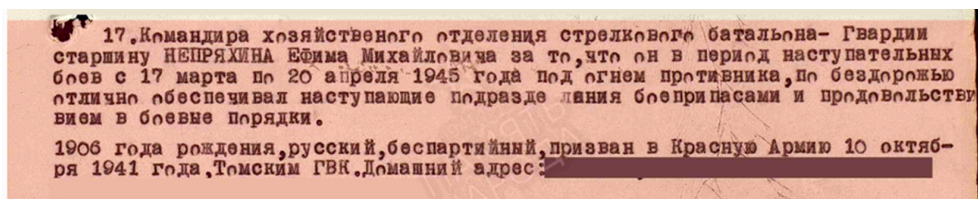


Рис. 6. Представление к награде Е.М. Непряхина, фрагмент документа [3]

Николай Фёдорович Тюменцев (рис. 7) начал свою службу в действующей армии еще в 1939 г. во время событий на Халхин-Голе, в составе 210-го гаубичного артиллерийского полка. Несмотря на то, что в боевых действиях полк участия не принимал, война нашла его бойцов позднее. Воспоминания о событиях своей жизни Н.Ф. Тюменцев изложил в изданных в 2019 г. военных мемуарах и записях, хранящихся в Госархиве Томской области [6, 5].

Николай Фёдорович закончил кафедру почвоведения ТГУ в 1936 г. и вернулся в университет уже в 1947 г. в качестве преподавателя и, позднее, руководителя лаборатории генезиса и бонитировки почв [1].



Рис. 7. Тюменцев Николай Федорович (18.11.1902–1976).
Фото с сайта ЮНЦ РАН [6]

Капитан; ст. лейтенант.

754 гаубичный артиллерийский полк;
35 запасной стрелковый полк 28 запасной стрелковой дивизии

2 ударная армия.

Ленинградский, 2-й Прибалтийский, 2-й Белорусский фронты [7]

Призван в армию в 1941 г.

После короткой подготовки в Новосибирске отправлен на фронт артиллеристом. Участвовал в боях по защите и освобождению города Ленинграда, городов Прибалтики, Польши, в Восточной Пруссии городов Данцига, Гдыни, Сопота; участвовал в форсировании р. Одер и в боях в центре Германии [1]. Войну закончил капитаном, пом. нач. штаба гаубичного артиллерийского Кингисеппского Краснознаменного полка Резерва Главного Командования [7].

Награжден Орденами «Отечественной войны II степени», «Красной Звезды»; Медалями «За оборону Ленинграда» (рис. 8, 9), «За взятие Кенигсберга», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» [3].

Тюменцев Николай Федорович
Орден Отечественной войны II степени



Наградной документ

Дата рождения: __. __. 1902

Наименование военкомата: Томский РВК, Новосибирская обл., Томский р-н

Дата и место призыва: Томский РВК, Новосибирская обл., Томский р-н

Дата поступления на службу: __. __. 1924

Воинское звание: капитан

Воинская часть: [754 гап](#)

Кто награждал: ВС Ленинградского фронта

Наименование награды: Орден Отечественной войны II степени

Номер документа: 114/н

Дата документа: 29.11.1944

Место призыва: Томский РВК, Новосибирская обл., Томский р-н

Приказ подразделения

№: 114/н от: 29.11.1944

Издан: ВС Ленинградского фронта

[Информация об архиве+](#)

Тюменцев Николай Федорович
Орден Красной Звезды



Наградной документ

Дата рождения: __. __. 1902

Наименование военкомата: Томский ГВК, Новосибирская обл., г. Томск

Дата и место призыва: Томский ГВК, Новосибирская обл., г. Томск

Дата поступления на службу: __. __. 1941

Воинское звание: капитан

Воинская часть: [754 гап](#)

Кто награждал: ВС 2 УдА

Наименование награды: Орден Красной Звезды

Номер документа: 7/н

Дата документа: 26.01.1944

Место призыва: Томский ГВК, Новосибирская обл., г. Томск

Приказ подразделения

№: 7/н от: 26.01.1944

Издан: ВС 2 УдА

[Информация об архиве+](#)

Тюменцев Николай Федорович
Медаль «За оборону Ленинграда»



Наградной документ

Воинское звание: ст. лейтенант

Воинская часть: [754 гап](#)

Кто награждал: 754 гап РГК

Наименование награды: Медаль «За оборону Ленинграда»

Номер документа: 356/отч.

Дата документа: 05.08.1943

Приказ подразделения

№: 356/отч. от: 05.08.1943

Издан: 754 гап РГК

[Информация об архиве+](#)

Страница героя на проекте:

[Книга памяти блокадного Ленинграда](#)

Рис. 8. Некоторые награды Н.Ф. Тюменцева [3]



Рис. 9. Наградные листы
Н.Ф. Тюменцева [3]

При поиске информации о **Б.Ф. Петрове** возникли некоторые нестыковки. Дело в том, что во всех материалах, включая публикации, связанные с деятельностью в ТГУ, он фигурирует под отчеством Феодосьевич, на что указывает и биобиблиографический указатель, составленный А.М. Малолетко [8]. Тем не менее, на официальном сайте Минобороны такого человека не значится, но при этом, фигурирует Петров Борис Феодосеевич с абсолютно совпадающими биографическими данными. Такое же отчество указано в документах, опубликованных к юбилею Победы на сайте Почвенного института им. В.В. Докучаева, где также работал Б.Ф. Петров [3, 9]. При идентичных фактах биографии возможно с высокой долей вероятности предположить, что это все-таки один и тот же человек, но причина разночтений осталась неясна.

Борис Феодосьевич (рис.10А и 10Б) окончил геолого-почвенно-географический факультет Томского университета по специальности почвоведение в 1934 г., первый выпуск. После завершения обучения, он был оставлен при кафедре и работал преподавателем (сначала ассистентом, позднее доцентом) до 1940 г., до призыва в Красную Армию. С 1941 г. участвовал в боях, но в ноябре 1941 г. получил ранение и был демобилизован. Преподавательскую дея-

тельность он уже продолжать не мог, но участвовал впоследствии в ряде крупных научных исследований почв Казахстана, Алтая, Саян, Тувинской АО в качестве сотрудника Почвенного института им. В.В. Докучаева [9, 10, 11].



Рис. 10 А. Петров Борис Феодосьевич
(19.09.1911–1951).
Фото из источника [12]



Б.Ф. Петров

Рис. 10 Б.
Автор рисунка И.М. Бородкина [13]

Лейтенант

944 сп Кубанская дивизия

Награды: Орден Красной Звезды [3]

Призван в армию в 1940 г. и в 1941 направлен на фронт. Участвовал в боях на Ленинградском фронте, Волховском направлении [1].

В звании лейтенанта командовал Батальоном дивизии. В бою за железнодорожную станцию Большая Вишера в 1941 г. при блокировании и захвате ДОТа был ранен. За этот подвиг награжден орденом (рис. 11, 12) [9, 1].



Петров Борис Феодосеевич

Орден Красной Звезды



Наградной документ

Дата рождения: __. __. 1911

Наименование военкомата: Томский ГВК,
Новосибирская обл., г. Томск

Дата и место призыва: Томский ГВК, Новосибирская
обл., г. Томск

Дата поступления на службу: __.10.1941

Воинское звание: лейтенант

Воинская часть: 944 сп Кубанская див.

Кто наградил: Президиум ВС СССР

Наименование награды: Орден Красной Звезды

Номер документа: 209/840

Дата документа: 30.05.1951

Место призыва: Томский ГВК, Новосибирская обл., г.
Томск

Приказ подразделения

№: 209/840 от: 30.05.1951

Издан: Президиум ВС СССР

[Информация об архиве+](#)

Рис. 11. Награда Б.Ф. Петрова [3]

Красной Звезды
МВО 351
Все графы заполнять полностью

НАГРАДНОЙ ЛИСТ

1. Фамилия, имя и отчество ПЕТРОВ Борис Федосеевич

2. Звание лейтенант 3. Должность, часть Командир 3 батальона 944 сп. Кубанская дивизия - Доктор геолого-минералогич. наук

Представляется к награде орденом "Красная Звезда" ст. научный сотрудник.

4. Год рождения 1911 5. Национальность русский 6. Партийность беспартийный

7. Участие в гражданской войне, последующих боевых действиях по защите СССР и отечественной войне (где, когда) Отечеств. с октября 1941г. по 19-ХП-41г. Волховский фронт

8. Имеет ли ранения и контузии в отечественной войне Пулеское сражение. ранен. горла.

9. С какого времени в Красной Армии с 19-41г. по 19-ХП-41г. 10. Каким РВК признан

11. Чем ранее награжден (за какие отличия) медали "За доблестн. труд в Вел. Отеч. войне"

12. Постоянный домашний адрес представляемого к награждению и адрес его семьи г. Москва, Столешников пер. д. 10 кв. 8 служ. тел. В-1-58-37.

I. Краткое, конкретное изложение личного боевого подвига или вклада

Тов. ПЕТРОВ Б. Ф. будучи командиром 3 батальона 944 сп. в боях за жел. дор. станцию Большая Вишера, при блокировании и захвате ДОТ'а, частью подразделений батальона. При личном командовании Петров Борис Федосеевич был тяжело ранен пулей в горло.

С поля боя был эвакуирован в госпиталь. В результате чего получил инвалидность 2 группы.

Тов. ПЕТРОВ достоин награждения орденом "КРАСНАЯ ЗВЕЗДА".

СВЯТОВСКИЙ РАЙОНСКИЙ
Полковник *А.В. Смирнов* /Рубанов/

Рис. 12. Наградной лист Б.Ф. Петрова [3]

Выпускник кафедры 1937 г. **Василий Павлович Шаповалов** (рис. 13), проработал на кафедре недолго, до 1939 г. – ассистентом, после чего отозван на партийную работу сначала в Томск, затем в Новосибирск. Прodelал славный и долгий боевой и жизненный путь.

Майор

3 Белорусский фронт [3]

Призван в армию в 1941 г.

Гвардии майор. Воевал с 1941 по 1945 г. Командир лыжного батальона [14].

С 1943 г. – помощник начальника 2-го отделения Разведотдела штаба 3-го Белорусского фронта

Награды:

Ордена Красной Звезды (30.01.1945) и Отечественной войны II степени

медали «За оборону Москвы» (01.05.1944), «За взятие Кенигсберга» (09.06.1945), «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» (09.05.1945) [7, 14].



Рис. 13. Шаповалов
Василий Павлович
(1906–2002)

Фото с сайта РАН [14]

Замыкает список фронтовиков ВОВ человек с трагической судьбой, выпускник 1937 г., ассистент кафедры **Синицын Александр Васильевич**, который ушел на фронт в начале войны в звании младшего лейтенанта. Он участвовал в боях на западном фронте. Попал в плен, где оставался до конца ВОВ. После освобождения пленных Красной Армией по приговору военного трибунала был 10 лет в заключении на Родине. Вернулся к семье в 1955 г. в Днепрпетровск. Скончался в 1965 г. [1].

Образ поколения, пережившего войну, в наши дни, в свете происходящих в стране и Море событий, стал нам ближе и понятнее через обновленный коллективный опыт. Обязанность каждого живущего поколения – удерживать прошлое через сохранение и актуализацию его следов, поскольку их изучение – это возможность познать настоящее и спрогнозировать будущее.

Литература и источники

1. Славнина Т.П. К истории кафедры почвоведения Томского государственного университета (1930–1990 гг). Томск, 1993. 82 (84) с. (машинописная версия с подписью автора, карандашные пометки Л.И. Гераско).

2. Славнина Т.П. Профессор Тамара Порфирьевна Славнина / под ред. Л.И. Инишевой. Томск: UFO–Print, 2003. 219 с.

3. Память народа 1941–1945 гг.: сайт. URL: <https://pamyat-naroda.ru/> (дата обращения: 09.05.2025).

4. Приказ Министра обороны РФ от 8 мая 2007 г. № 181 «О рассекречивании архивных документов Красной Армии и Военно-Морского Флота за период Великой Отечественной войны 1941–1945 годов» (с изменениями на 30 мая 2009 г.). URL: <https://www.garant.ru/hotlaw/federal/157918/> (дата обращения: 09.05.2025).

5. Бессмертный полк Томского отделения Русского географического общества. К 75-летию Дня победы / авт.-сост. действ. член РГО Н.Л. Николаев. Томск, 2020. URL: <https://clck.ru/3MDLNX> (дата обращения: 08.05.2025).

6. Тюменцев Николай Федорович (1902–1976) / ЮНЦ РАН: сайт. URL: https://www.ssc-ras.ru/bessmertnyi_polk/tyumencev_nikolai_fedorovich_19021976 (дата обращения: 08.05.2025).

7. Научный полк / ИПА СО РАН: сайт. URL: <https://www.issa-siberia.ru/index.php?id=208> (дата обращения: 08.05.2025)

8. Почвовед Петров Борис Феодосьевич: биобиблиографический указатель / авт.-сост. А.М. Малолетко; Том. гос. ун-т, Рус. геогр. о-во, Бийское отд.-ние. Вариант 2-й, испр. и доп. Томск: ТГУ, 2010. 11 с.

9. Ученые Почвенного института имени В.В. Докучаева – победители в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. / под ред. А.Л. Иванова. М: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2025. 77 с. URL: <https://cloud.esoil.ru/s/jifsn4PmEGTAPFA?openfile=true> (дата обращения: 10.05.2025).

10. Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева: сайт. URL: <https://soil-museum.ru/o-muzee/novosti/209/> (дата обращения: 10.05.2025).

11. Славнина Т.П. Вклад Б.Ф. Петрова в развитие сибирского почвоведения (к 80-летию со дня рождения) // Почвоведение. 1991. № 6. С. 113–117.

12. Малолетко А.М. 100 лет со дня рождения почвовед Б.Ф. Петрова (1911–1951) // Алтайский край, 2011 г.: Календарь знаменательных и памятных дат / Алтайская краевая универсальная научная библиотека им. В.Я. Шишкова. Барнаул: Алтайский полиграфический комбинат, 2010. С. 82–85. EDN XZKTTF. URL: <http://irbis.akunb.altlib.ru:81/bo/bo000720.pdf> (дата обращения: 10.05.2025).

13. Бородкина И.М. Работы ученых Томского государственного университета им. В.В. Куйбышева по изучению почв и условий почвообразования Сибири: курсовая работа / науч. рук. И.С. Сметанин. Томск, 1957. 46 с. (неопубликован).

14. Фотолетопись Сибирского отделения Российской академии наук. URL: http://www.soran1957.ru/?id=PA_folders24-59_0002_0702 (дата обращения: 08.05.2025).

СЕКЦИЯ 1 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ГЕНЕЗИСА И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ

SECTION 1 MODERN METHODS AND APPROACHES TO THE STUDY OF GENESIS AND CLASSIFICATION OF SOILS

УДК 631.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-2

Гумусоведение: теоретические, методические и прикладные аспекты

М.И. Дергачева

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
mid555@yandex.ru*

Аннотация. Рассматривается роль гумусоведения в решении широкого круга теоретических и прикладных проблем почвоведения и других сопредельных наук, связанных с использованием гумусовых веществ почв. Обсуждаются методологические вопросы гумусоведения. Обращается внимание, что материалы о поведении гуминов в годичном цикле, позволяют предполагать, что они могут осуществлять функцию механизма регуляции поведения СГВ в меняющейся природной обстановке. Подчеркивается, что всесторонняя информация о молекулярных параметрах гуминовых кислот позволяет считать этот компонент гумуса хранителем информации об условиях своего формирования и молекулярной матрицей для саморегуляции устойчивого состояния системы гумусовых веществ почв. В настоящей работе термины «гумус», «гумусовая составляющая почв» и «система гумусовых веществ» используются как синонимы.

Ключевые слова: учение о гумусе почв, гумусовые вещества, гуминовые кислоты, прикладные проблемы, системный подход

Humus science: theoretical, methodological and applied aspects

M.I. Dergacheva

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
mid555@yandex.ru*

Summary. The role of humus science in solving a wide range of theoretical and applied problems of soil science and other related sciences related to the use of humic substances in soils is considered. Methodological issues of humus science are discussed. It

is noted that materials on the behavior of humins in the annual cycle suggest that they can to realize a mechanism for regulating the behavior of humic substances in a changing natural environment. It is emphasized that comprehensive information on the molecular parameters of humic acids allows us to consider this humus component as a keeper of information on the conditions of its formation and as a molecular matrix for self-regulation of the stable state of the soil system humic substances. In this paper, the terms “humus”, “humus component of soils” and “humic substance system” are used as synonyms.

Keywords: the doctrine of soil humus, humic substances, humic acids, applied problems, systems approach

История Учения о гумусе почв, которая насчитывает уже около 250 лет, в течение всего периода характеризовалась появлением кардинально противоположных точек зрения на существование в природе специфических углеродистых соединений – гумусовых веществ (ГВ): от признания их в качестве особых природных соединений, не имеющих аналогов, до полного отрицания их существования. Периодическая дискуссионность проблемы скорее не тормозила развитие этого Учения, а способствовала постепенному формированию его основ: происходило накопление разнообразных материалов, свидетельствующих о реальности существования гумусовых веществ как особых природных образований, которые не имеют аналогов среди всех известных классов углеродистых соединений ни по строению и свойствам, ни по охвату природных процессов с их участием. Целая плеяда ученых-гумусоведов за прошедший период получила, собрала и опубликовала безмерное количество данных о составе, структурных компонентах, свойствах гумусовых веществ (ГВ), так, что к настоящему времени практически не подлежит сомнению, что гумусовые вещества имеют единый принцип строения, независимо от источника гумификации, но в то же время в разных условиях природной среды они различаются количественными параметрами состава, структурных особенностей и свойств [1–5]. Однако ряд особенностей ГВ (например, их нестехиометричность, нерегулярность структуры, гетерогенность структурных единиц, полидисперсность, а также неясность механизмов образования и высокой устойчивости во времени) не получили своего окончательного объяснения и оставили этот природный почвенный компонент в зоне дискуссионности.

Попытка найти объяснение возникающим трудно объяснимым и разрешимым с позиций господствующей парадигмы вопросам приводила к разработке и обоснованию разных концептуальных представлений. Одной из концепций, появившейся в 80-е гг. прошлого века, было представление гумуса как совокупности взаимосвязанных гумусовых веществ, представляющих собой природную открытую (диссипативную) самоорганизующуюся и саморегулируемую систему, в которой все компоненты также являются подобными системами более низкого иерархического уровня [3, 4]. Разработанная концепция о гумусе как природной открытой системе позволила расширить круг решаемых проблем как в области уточнения или ревизии теоретических и методических подходов, так и в области решения проблем прикладного почвоведения и сопредельных наук. Возникшая необходимость уточнения

имеющихся и введения новых теоретических и методических принципов и правил изучения СГВ (или гумуса) почв и интерпретации результатов исследования с позиций системного подхода, привела к выделению в Учении о гумусе почв еще одного самостоятельного раздела (кроме выделенных ранее химического и экологического направлений [5]), названного нами «гумусоведение». Предметом его является разработка теоретической и методической основы решения в рамках Учения о гумусе почв разного уровня задач почвоведения и других естественных и социальных наук, где требуются знания о состоянии природной среды и ее изменениях в пространстве и во времени.

Таким образом, гумусоведение направлено на обоснование с теоретических и методических позиций широкого круга вопросов, связанных с пониманием гумуса почв как природной самоорганизующейся и саморегулируемой системы гумусовых веществ, ее поведением при меняющихся внешних условиях, а также выполнением ими разнообразных функций.

Необходимо понимать, что только совокупность структурно, процессуально и функционально взаимосвязанных гумусовых веществ, представляя систему, может выполнять целостные для этой системы функции, например, регуляцию устойчивости экосистем, поддержание плодородия почв или сохранение во времени информации о природной среде, тогда как любая совокупность, представляющая собой смесь веществ, не может реализовывать какие-либо функции в биосфере. Только с учетом особенностей почвы как саморегулируемой системы, ее целостных свойств как системы, можно управлять почвенными процессами, в том числе плодородием, и СГВ, обладающая свойствами сенсорности и рефлекторности к состоянию окружающей среды, способствует реализации этого положения.

Система гумусовых веществ действительно обладает сенсорностью к меняющимся условиям природной среды: она изменяет свои характеристики в процессе изменения климатических параметров в годовом цикле развития почв [3], причем при смене сезонов четко прослеживаются преобразования в качественном составе гумуса, повторяющиеся из года в год. Следует обратить внимание, что в зимний период (в промерзших почвах) доля гуминов всегда наименьшая (может составлять даже 5–10%), тогда как в раннелетний период она, как правило, наиболее высокая. Это, как и имеющиеся в литературе сведения о колеблющемся в течение года в составе гуминов соотношении гуминовых кислот и фульвокислот (Сгк : Сфк), позволяют обратить внимание на возможное осуществление группой гумусовых веществ из гуминов функции регулятора устойчивости СГВ за счет перехода части прочно (но обратимо) связанных ГВ в растворимое состояние. В частности, в зимний период гумусовые вещества из гуминов могут становиться растворимыми в моменты, когда нарушается устойчивость системы гумусовых веществ [5].

Прежде чем решать вопросы состояния, изменений или сохранности почв и диагностической значимости ГВ в решении теоретических и прикладных проблем, была проведена оценка широкого круга показателей их состава, структурных особенностей и свойств с целью выявления тех из них, которые

могут использоваться как индикаторы условий формирования, направленности и степени трансформации, а также устойчивости-изменчивости в связи с меняющейся природной обстановкой.

Выявлено, что среди гумусовых веществ (ГВ) наиболее высокой индикационной способностью отличаются гуминовые кислоты (ГК). Это – группа почвенных углеродистых соединений, для которых установлены вполне устойчивые пределы молекулярных параметров, соответствующих экологическим условиям их формирования. То есть ГК, сформированные в разных природных условиях, имеют специфичный и относительно узкий диапазон варьирования атомных отношений основных структурообразующих элементов, определенные диапазоны количественных параметров флуоресценции испускания, характеризующие ряд молекулярных их особенностей (λ_{max} , M_1 , α , kd) и вполне определенные пределы соотношения ароматической и алифатической их частей. Выявление связей разных полученных независимыми методами показателей состава, структурных особенностей и свойств между собой и со среднемноголетними локальными климатическими характеристиками, показало высокую корреляцию во всех случаях (r не ниже 0,75, но чаще всего лежит в пределах 0,8–0,9). Изучение этого набора показателей состава, особенностей структуры и свойств ГК, выделенных из диагностированных разными палеогеографическими методами палеопочв, показало высокую рефлекторность гуминовых кислот, которые сохраняют параметры своего состава и свойств в пределах типовых особенностей.

Все выше изложенное позволяет высказать предположение, подтверждаемое многочисленными материалами изучения молекулярных особенностей ГК, что гуминовые кислоты, будучи также природной открытой системой, являются хранителем информации об условиях своего формирования и молекулярной матрицей для саморегуляции устойчивого состояния гумусовой составляющей почв.

Перечень проблем и вопросов прикладного значения, в реализации которых может способствовать гумусоведение, очень велик, но представляется, что наиболее актуальными из них можно назвать следующие: поведение почв во времени в меняющейся естественным и антропогенным путями природной обстановке; выявление истоков возникновения системы гумусовых веществ (СГВ) в биосфере и возможный круг их функций; территориальное расширение дальнейшей разработки информационных функций гумусовых веществ в биосфере; установления количественных параметров взаимосвязи состава и свойств гумусовых веществ с биоклиматическими условиями их формирования на количественной основе; обеспечения устойчивого плодородия почв и другие.

Литература

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.
2. Stevenson F.J. Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2nd ed. New York; Chichester: John Wiley, 1994. 496 p.

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

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

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

УДК 631.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-3

Гумусовый профиль сухоторфяно-подбура (хребет Кет-Кап)

Е.В. Каллас

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия
ekallas70@gmail.com*

Аннотация. Процессы гумификации в сухоторфяно-подбуре протекают слабо, о чем свидетельствуют низкие величины ГК фракций 1 и 2. В гумусовом профиле на глубине 52–58 см выделяется зона с иными характеристиками: фульватно-гуматным типом гумуса, максимальной долей ГК за счет аккумуляции стабильных компонентов ГК-2 и ГК-3, что свидетельствует о полигенетичности почвы и формировании её на ранних стадиях почвообразования в более теплых условиях под растительностью, обогащенной основаниями.

Ключевые слова: сухоторфяно-подбур, гумусовый профиль, полигенетичность

Humus profile of drypeat-podbur (Ket-Kap ridge)

E.V. Kallas

*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation
ekallas70@gmail.com*

Summary. Humification processes in drypeat-podbur are weak, as evidenced by the low values of humic acids (HA) fractions 1 and 2. In the humus profile at a depth of 52–58 cm, a zone with other characteristics is distinguished: the fulvate-humate type of humus, the maximum proportion of HA due to the accumulation of stable components of HA-2 and HA-3, which indicates the polygenetic nature of the soil and its formation in the early stages of soil formation in warmer conditions under vegetation enriched with calcium.

Keywords: drypeat podbur, humus profile, polygenetic

Подбуры – это неоглеенные почвы холодных гумидных областей, имеющие бурый профиль без признаков оподзоливания и формирующиеся пре-

имущественно в поясе горных стлаников в условиях свободного внутреннего дренажа [1]. По сравнению с другими типами почв, подбуры изучены в меньшей степени, данные о составе гумуса этих почв в литературе встречаются крайне редко, а характеристики гумусовых профилей, позволяющие получить информацию об истории их развития, отсутствуют.

Целью работы является выявление особенностей гумусового профиля сухоторфяно-подбура на хребте Кет-Кап (Алданское нагорье, Якутия).

Объект исследования сформирован под листовенничным лесом на древних осадках морского генезиса. Согласно [1], изученная почва относится к стволу постлигитогенных, отделу альфегумусовых, типу сухоторфяно-подбуров, подтипу иллювиально-гумусовых, роду бескарбонатных, виду маломощных. Согласно классификации WRB – Enty-Folic PODZOLS.

В профиле исследованной почвы под 5-см оторфованной подстилкой залегает горизонт TJ (5–35 см), представленный древесным высоко разложённым торфом темно-бурого цвета. Формирование своеобразного сухоторфяного горизонта обусловлено не избыточным увлажнением, а холодным климатом, в условиях которого процессы минерализации и гумификации заторможены, что приводит к консервации мертвого органического вещества на стадии полуразложения. Ниже сухоторфяного горизонта выделяется серовато-темно-бурый перегнойно-минеральный плотный горизонт ВН (35–52 см), сменяемый мерзлым серовато-коричневым ожелезненным глинистым горизонтом BF_m (52–58 см), под которым залегает мерзлый глинистый слой почвообразующей породы светло-бурого цвета с ржаво-желтым оттенком (C_m 58–65 см). Морфологические признаки оглеения и оподзоливания не выражены.

Методы исследования. Для изучения сухоторфяно-подбура использовались общепринятые в почвоведении методы и методики [2]. С целью изучения гумусового профиля фракционно-групповой состав гумуса изучался в образцах почвы, отобранных сплошной колонкой (каждые 5–10 см) с учетом границ генетических горизонтов, по методу И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [3].

Результаты исследования и их обсуждение. По гранулометрическому составу минеральные горизонты почвы являются среднеглинистыми мелкопылевато-иловатыми с содержанием фракции физической глины более 70%, что обусловлено характером почвообразующих пород, представленных древними глинистыми осадками морского происхождения.

Жесткие климатические условия, в первую очередь низкие температуры (мерзлотный режим), способствуют консервации и накоплению не только гидрофильной, но и мезофильной растительности в виде органического вещества торфяных горизонтов. Верхние торфяные слои содержат до 49% органического углерода. Ниже, в горизонте ВН, отмечается снижение до 25%, в BF_m – до 20% и в мерзлой породе не превышает 2%. Обогащенность органическим углеродом горизонтов С в подбурах Якутии отмечалось и другими исследователями. Так, М.Ю. Дебелов [4] приводит данные, свидетельствующие

щие о накоплении гумуса в материнской породе аналогичных почв до 4%. Тип распространения углерода по профилю исследованного сухоторфяно-подбуре прогрессивно-аккумулятивный. Торф почвы обогащен азотом, содержание которого колеблется по профилю в пределах 1,10–2,11%. Особой характеристикой органогенных горизонтов является зольность, показывающая долю минеральных компонентов, важнейшие из которых фосфор, калий, кальций. Исследованная почва отличается высокой зольностью, закономерно возрастающей с глубиной в пределах торфяного горизонта от 13 до 20%, в горизонте ВН величина этого показателя возрастает до 60%. Реакция среды по всему профилю слабокислая, близкая к нейтральной ($pH_{вод}$ 6,14–6,48). В связи с низкой актуальной кислотностью обменная кислотность, обусловленная в органогенных горизонтах поглощенным водородом, практически не проявляется, величина $pH_{сол}$ достигает величин 5,5–6,0 единиц. Обогащенность сухоторфяной части профиля зольными элементами определяет высокую сумму поглощенных оснований – 90–137 мг-экв/100 г почвы. В иллювиально-перегнойном горизонте этот показатель характеризуется более низкими величинами – 60–62 мг-экв/100 г и снижается в материнской породе до 17 мг-экв/100 г почвы.

Таким образом, в исследованном сухоторфяно-подбуре выявлены высокая степень разложения торфяной массы, обогащенность азотом, зольными элементами и поглощенными основаниями, а также слабокислая, близкая к нейтральной реакция среды.

Важнейшую информацию о генезисе почв и особенностях её развития на отдельных этапах формирования в разных условиях природной среды позволяет получить анализ гумусового профиля, отражающий в своих характеристиках процесс образования системы гумусовых веществ на протяжении всего периода функционирования почвенного тела. Являясь интегральным показателем, гумусовый профиль фиксирует все состояния, которые проходит почва в период своего развития, поскольку гумус рефлексорен и сенсорен по отношению к природной среде, прежде всего, к климату [4], и соотношение компонентов гумуса и его свойства как системы обусловлены гидротермическим режимом, в условиях которого проходило образование гумусовых кислот и их органоминеральных производных. С этих позиций гумусовый профиль, концептуальный подход к понятию которого предложила М.И. Дергачева [5], может служить инструментом, позволяющим реконструировать историю развития почвы и прогнозировать её поведение в меняющихся природных условиях на основе интерпретации его характеристик [6, 7].

В исследованном сухоторфяно-подбуре основная часть органического углерода системы гумусовых веществ заключена в гумине, представляющем комплекс прочносвязанных друг с другом и с минеральными компонентами гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК). На долю негидролизующихся форм гумуса приходится 61–72% от общего органического углерода ($C_{общ}$) в органо-генной части профиля (горизонт TJ) и 45–65% в горизонте ВН. В слое материнской породы величина этой группы ниже – 30% от $C_{общ}$.

В гидролизуемой части гумуса преимущественно преобладают ФК, обуславливая фульватный и гуматно-фульватный тип гумуса с отношением $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ от 0,4 до 0,95. Лишь в слое 52–58 см (горизонт BF_m) доля ГК выше доли ФК, отношение $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ превышает единицу (1,17). В целом относительное содержание ГК в составе гумуса увеличивается с глубиной от 11–13% от $C_{\text{общ}}$ в органогенном слое до 30% в мерзлых минеральных слоях, причем происходит это за счет стабильных фракций – гуматов кальция (фракция ГК-2) и связанных с высокодисперсными минералами ГК фракции 3. Накопление этих компонентов системы гумусовых веществ в нижних горизонтах профиля не может быть объяснено процессом ретинизации гумуса, так как ГК-2 и ГК-3 не способны переходить в раствор в условиях слабокислой и нейтральной среды и мигрировать из верхних горизонтов, это аккумулятивная часть гумуса, остающаяся на месте своего образования. Можно предположить, что в период формирования системы гумусовых веществ этой части профиля гидротермические условия были благоприятными для синтеза ГК, т.е. было существенно теплее по сравнению с настоящими условиями функционирования почвы.

В сухоторфяном горизонте, отвечающем современной климатической обстановке, черные ГК (фракция ГК-2) практически не образуются, доля их не превышает 1% от $C_{\text{общ}}$, тогда как в минеральных горизонтах относительное содержание их достигает 16%. Бурые ГК (фракция 1), являющиеся новообразованными и характеризующие интенсивность процессов гумификации и гумусообразования, составляют небольшую долю – около 3% от $C_{\text{общ}}$, что отражает жесткие гидротермические условия формирования почвы: низкие температуры, длительное промерзание почвы, короткий период биологической активности. ГК фракции 3 синтезируются в несколько большем количестве – до 5–9% от $C_{\text{общ}}$ в органогенной толще почвы и до 14% – в минеральных горизонтах.

ГК фракций 2 и 3, являясь стабильной частью гумуса, устойчивы к микробиологическому разложению и не передвигаются по профилю. В связи с этим можно предположить. Что на предыдущих этапах (стадиях) развития данного почвенного тела биоклиматические условия были благоприятны для синтеза гумуса и протекали в среде, обогащенной биогенным кальцием, источником которого могла быть иная (травянистая?) растительность.

Таким образом, выделенный на глубине 52–58 см слой гумусового профиля с иными характеристиками, отличающийся от выше- и нижележащей толщи максимальным накоплением ГК-2 и ГК-3, наиболее широким отношением $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$, свидетельствует в пользу полигенетичности почвы, формирование которой протекало в неоднозначной по теплообеспеченности обстановке. Скорее всего, начало почвообразования протекало в более теплых условиях под растительностью, обогащенной основаниями и кальцием в том числе.

Литература

1. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.

3. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л., 1975. 105 с.

4. Дергачева М.И., Рябова Н.Н. Коррелятивные связи состава гумуса и климатических показателей в условиях горных территорий юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 15. С. 68–71.

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

6. Каллас Е.В., Дергачева М.И. Гумусовые профили почв Сибири разных условий почвообразования // Сибирский экологический журнал. 2011. № 5. 2011. С. 633–640.

7. Каллас Е.В., Дергачева М.И. Гумусовые профили почв экотона тайга–степь Западной Сибири. Томск; Новосибирск: ООО Окарина, 2011. 127 с.

УДК 631.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-4

Гумусовый профиль чернозема глинисто-иллювиального подтайги Притомья

Е.В. Каллас*, К.С. Пучкова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

**ekallas70@gmail.com*

Аннотация. Чернозем глинисто-иллювиальный является полигенетичным. Его гумусовый профиль несет информацию о разных стадиях формирования. Погребенные горизонты образовались, предположительно, в более благоприятных для гумусообразования условиях (высокое накопление гумуса, ГК и гуматов кальция, широкое отношение $C_{гк} : C_{фк}$). Стадии современного и древнего почвообразования прерывались литогенезом в период похолодания и увеличения влажности (резкое снижение синтеза ГК, возрастание ФК, сужение отношения $C_{гк} : C_{фк}$ до величин фульватного типа гумуса).

Ключевые слова: чернозем глинисто-иллювиальный, подтайга Притомья, гумусовый профиль, полигенетичность

Humus profile of chernozem of clay-illuvial subtaiga of Pritomye

E.V. Kallas*, K.S. Puchkova

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

**ekallas70@gmail.com*

Summary. Clay-illuvial chernozem is polygenetic. Its humus profile contains information about different stages of formation. Buried horizons were presumably formed under conditions more favorable for humus formation (high accumulation of humus, humic

acids (HA) and humates, wide ratio of $C_{ha} : C_{fa}$). The stages of modern and ancient soil formation were interrupted by lithogenesis during the period of cooling and increasing humidity (a sharp decrease HA synthesis, an increase fulvic acids (FA), a narrowing of the $C_{ha} : C_{fa}$ ratios to the average fulvate type of humus).

Keywords: clay-illuvial chernozem, subtaiga of the Tomsk region, humus profile, polygenetic

Черноземы глинисто-иллювиальные являются экстразональными на территории подтайги Притомья с зональными дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами. Подтайга Томь-Яйского междуречья представляет собой переходную зону между южной тайгой и лесостепью и в полной мере несёт черты экотона: обладает подвижным равновесием между лесостепью и южной тайгой, характеризуется большим разнообразием компонентного состава, неустойчивым почвообразованием, существенным изменением границ растительных формаций и активности почвообразовательных процессов даже при незначительных колебаниях климата [1]. В пределах подтайги встречаются растительные и почвенные ареалы лесных, лесостепных и степных условий. Одним из таких компонентов является фрагмент перисто-ковыльной степи, расположенный в смешанном лесу с преобладанием березы, осины и редкими отдельными соснами, известный как ботанический памятник природы областного значения «Склон с реликтовой растительностью у с. Коларово» площадью 2 га. Он расположен в долине р. Томь (правобережье) на открытых слабо залесенных обрывистых и пологоувалистых южных и юго-западных склонах 30–45 м над уровнем реки, крутизной 30–45°. Основная часть видов растительных сообществ соответствует реликтовому плейстоценовому комплексу (ковыль, овсяница, горноколосник, истод, полынь, осока) и свидетельствует о существовании здесь в прошлом настоящих степей. В кустарниковом ярусе присутствуют карагана древовидная и кустарниковая, кизильник черноплодный, полынь Гмелина.

Почвенный покров территории памятника представлен черноземами глинисто-иллювиальными (черноземами выщелоченными, по Классификации 1977 г.).

Цель данной работы – выявление специфики гумусового профиля чернозема глинисто-иллювиального подтайги Притомья на территории ботанического памятника природы.

Объект исследования. Изученная почва, согласно [2], относится к отделу аккумулятивно-гумусовых почв в стволе постлитогенных, к типу чернозема глинисто-иллювиальные, подтипу типичные, роду бескарбонатные, виду маломощные, тучные, разновидности среднесуглинистые. Морфологической особенностью профиля данной почвы является наличие погребенных на глубине 115–145 см перегнойно-гумусовых горизонтов темно-серой, почти черной, окраски.

Результаты исследования и обсуждение. В распределении органического углерода по профилю чернозема выделяется два четко выраженных макси-

му, приуроченных к верхней части современного гумусового горизонта (8,01%) и к погребенным горизонтам (рис. 1). В этих же слоях отмечается наибольшая степень гумификации, выраженная в аккумуляции гуминовых кислот (36% от $C_{\text{общ}}$ в горизонте AU и до 40% в [AU"]) и широкое отношение $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ до величин, характеризующих гуматный тип гумуса.

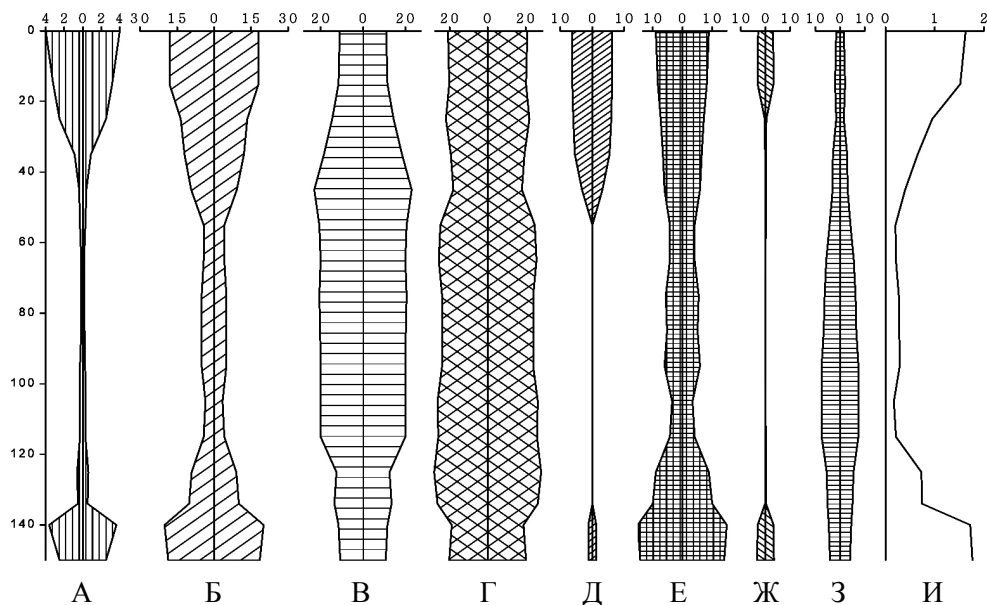


Рис. 1. Гумусовый профиль чернозема глинисто-иллювиального. Условные обозначения: А – общий орг. углерод, % к почве; % к $C_{\text{общ}}$; Б – сумма ГК, В – сумма ФК, Г – негидролизуемые формы гумуса, Д – ГК фр. 1, Е – ГК фр. 2, Ж – ГК фр. 3, З – ФК фр. 1а; И – $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$

В горизонте AU дневной почвы в составе ГК участвуют все фракции. На долю бурых ГК (фракция 1), являющихся новообразованными и отражающих современный процесс гумусообразования, приходится до 12,5% от $C_{\text{общ}}$. Черные ГК (гуматы кальция, фракция 2) представлены долей в 16–18%, прочносвязанные с полуторными оксидами и высокодисперсными минералами ГК фракции 3 содержатся в количестве около 6% от $C_{\text{общ}}$. С глубиной доли всех фракций ГК закономерно снижаются. Бурые ГК и ГК фракции 3 участвуют в формировании системы гумусовых веществ лишь в первом полуметре. Толща почвы, разделяющая верхнюю гумусированную часть профиля и погребенные горизонты древней почвы, отличается полным отсутствием в составе ГК фракций 1 и 3, невысокой долей гуматов кальция (7–10%) и наиболее узкими величинами $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ (0,17–0,29), характерными для фульватного типа гумуса.

Погребенные гумусовые горизонты, по сравнению с современными, аккумулируют на 70% больше гуматов кальция при близком уровне долей ГК

фракции 3. Основываясь на концептуальном подходе к понятию гумусового профиля, разработанном М.И. Дергачевой [3], и принимая во внимание тот факт, что ГК являются аккумулятивным гидрофобным компонентом гумуса (не мигрируют ни в профиле, ни в ландшафте), а их синтез и накопление коррелируют с температурными характеристиками климата (тогда как ФК с условиями увлажнения) [4], можно предположить, что в период формирования системы гумусовых веществ в древней почве природные условия отличались более высокой теплообеспеченностью, чем современные, а процессы гумификации протекали в среде, более насыщенной биогенным кальцием. Возможно, почвообразование в древней почве протекало по луговому или черноземно-луговому типу, учитывая наличие в горизонте [AU'] охристо-ржавых пятен оксидов железа, образование которых в современных условиях при отсутствии повышенного гидроморфизма маловероятно.

Относительное содержание ФК как в современном гумусовом горизонте, так и в погребенном составляет 21–23% от $C_{\text{общ}}$. Но близкий уровень этого компонента гумуса не позволяет с уверенностью утверждать, что влагообеспеченность территории во время образования древней и современной почвы была одинаковой, поскольку ФК являются менее устойчивыми в диагенезе, чем ГК, и подвергаются более активной минерализации при прекращении функционирования почвенного тела.

Погребение древней почвы наносами в период активизации эрозионно-аккумулятивных процессов (седиментогенеза) происходило, скорее всего, в условиях похолодания и более влажного климата, на что указывает снижение доли ГК, увеличение доли (в 2 и более раз) свободных, так называемых агрессивных, ФК фракции 1a и ФК в целом (до 40–45% от $C_{\text{общ}}$), фульватный тип гумуса.

Исследованный чернозем является полигенетичным, его гумусовый профиль несет информацию о разных стадиях формирования на протяжении периода развития ландшафта в условиях меняющейся природной обстановки. Погребенные горизонты образовались, предположительно, в более благоприятных для гумусообразования и накопления органического углерода условиях, о чем свидетельствуют высокое накопление гумуса (до 14%), ГК (до 40%), гуматов кальция (до 30%), широкое отношение $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ (1,72–1,76). Стадии современного и древнего почвообразования прерывались седиментогенезом (литогенезом) на этапе активизации эрозионно-аккумулятивных процессов в период похолодания и увеличения влажности, на что указывает резкое снижение синтеза ГК, возрастание в 2 раза ФК в целом (до 40%) и их свободных форм (фракция 1a), сужение отношения $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ до величин фульватного типа гумуса.

Закключение. Характеристики гумусового профиля исследованной почвы несут информацию о двух стадиях почвообразования, предположительно протекающих в разных по теплообеспеченности условиях, но, тем не менее, сопровождающихся высокой аккумуляцией гумуса гуматного типа, и одной стадии осадконакопления в период похолодания и гумидизации климата.

Литература

1. Герасько Л.И. Подтайга Западной Сибири: ландшафтно-динамические аспекты // Сибирский экологический журнал. 2007. № 5. С. 719–724.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 155 с.
4. Дергачева М.И., Рябова Н.Н. Коррелятивные связи состава гумуса и климатических показателей в условиях горных территорий юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 15. С. 68–71.

УДК 631.41

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-5

Морфоаналитические особенности гипсоносных аллювиальных почв Южного Приангарья

Н.Д. Киселева

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

nata_kis71@list.ru

Аннотация. Гипсоносные аллювиальные почвы Южного Приангарья располагаются в поймах левых притоков реки Ангары, сформированные на «гажевых» отложениях. Гипсоносные почвы формируются под влиянием засушливого климата. Почвы обладают рядом одинаковых морфологических признаков: по всему профилю почв наблюдается вскипание от 10% HCl, выявлены карбонатные и гипсовые новообразования, которые проявляются в виде кристаллов гипса. К характерным признакам гипсоносных почв относятся наличие гипсового горизонта с разными формами гипсовых новообразований, горизонта скопления карбонатов.

Ключевые слова: гипсоносные почвы, засоленность почв, карбонатность

Morpho analytical features of gypsum-bearing alluvial soils of the Southern Angara Region

N.D. Kiseleva

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

nata_kis71@list.ru

Summary. Gypsum-bearing soils are formed under the influence of arid climate. Soils have a number of identical morphological features: boiling of 10% HCl is observed throughout the soil profile, carbonate and gypsum neoplasms have been identified, which manifest themselves in the form of gypsum crystals. The characteristic features of gypsum-bearing soils include the presence of a gypsum horizon with various forms of gypsum neoplasms, and a horizon of carbonate accumulation.

Keywords: gypsum-bearing soils, soil salinity, carbonate content

На территории Иркутской области особое место среди засоленных почв занимают своеобразные гипсовые почвы с разными формами гипсовых новообразований от гипсового камня до мелкокристаллических мучнистых отложений, которые принято называть «гажей». Почвы, развитые на «гажевых» отложениях, известны во многих регионах мира, а также в России, в том числе на территории Южного Приангарья были обнаружены гажевые почвы. «Гажевые» отложения занимают обычно всю надпойменную террасу (по ширине). Какой-либо четкой закономерности в мощности «гажевых» отложений от уступа первой надпойменной террасы до её тыльного шва не наблюдается. «Гажевые» отложения в условиях Южного Приангарья встречаются лишь в тех частях территории, где широко распространены гипсоносные породы кембрия [1].

Условия почвообразования в регионе имеют интересные особенности. В геологическом строении принимают участие осадочные породы кембрия и перекрывающие их юрские и четвертичные отложения. Причем верхнекембрийские отложения занимают подавляющую часть площади и играют чрезвычайно большую роль в почвообразовании. Они представляют собой красноватые известковистые песчаники, переслаиваемые красными мергелями, глинами, аргиллитами и гипсом. Коренные осадочные кембрийские породы прикрыты маломощными аллювиальными и элювиально-делювиальными четвертичными наносами. На четвертичных аллювиальных наносах ограниченными ареалами залегают «гажевые» отложения. Характер рельефа холмисто-равнинный, обусловленный, главным образом, водно-эрозионными процессами, создавшими расчленение поверхности многочисленными глубокими долинами и ложбинами. Специфической особенностью климата является малое количество осадков и преобладание испаряемости над поступлением влаги с осадками, поэтому господствующий тип водного режима непромывной, сменяющийся в сухой сезон года выпотным. Основные водные ресурсы района сосредоточены в бассейне рек Ангары и Унги. Формирование почвенно-растительного покрова происходит в условиях значительной расчлененности рельефа: незначительное распространение имеют горные темнохвойные леса из сосны и лиственницы, пихтово-кедровые леса, сосновые и лиственничные, березовые остепненные леса и сухие вострецовые и типчаковые степи, галофитные луга. Почвенный покров довольно хорошо изучен: по склонам и водоразделам сформированы дерново-лесные, бурые почвы; дерново-карбонатные почвы распространены по разным элементам рельефа под лесной, лугово-степной растительностью; подзолистые почвы развиваются на водоразделах и древних террасах, сложенных песчаным рыхлым покровом, со светло-хвойным моховым лесом; черноземы покрывают поверхность террас, придолинные пологие склоны со степной и лугово-степной растительностью; лугово-черноземные почвы занимают днища сухих ложбин под лесолуговой растительностью; засоленные почвы приурочены в основном к поймам и надпойменным террасам рек и их притоков [2, 3].

Объектами исследования послужили пойменные почвы на «гажевых» отложениях, имеющие в своем почвенном профиле гипс. Разрезы были заложены в поймах левых притоков Ангары – Унга, Залари, Нукутка, Тангутка, Харётка. Местоположение разрезов и классификационная принадлежность указана в таблице. Для определения морфоаналитических особенностей были применены классические методы исследования, принятые в почвоведении.

В профилях почв, расположенных в поймах рек (P1X13, P5H09, P1H10) выявлены общие признаки: почва увлажнена, уплотнена, имеют слоистость в верхних горизонтах, по всему профилю наблюдается вскипание от 10% HCl. Все почвенные профили имеют новообразования в виде отмытых зерен минералов, а также присутствуют карбонатные и гипсовые новообразования, которые проявляются в виде кристаллов гипса, клеящим веществом служит гумус, корни трав, карбонаты и иловатые вещества, также имеются включения ракушек моллюсков разного размера. Все разрезы оглеены в нижней части профиля, кроме P1H10, он не оглеен и отличается окраской всего почвенного профиля.

В разрезах, заложенных на береговом обнажении (P7Y13, P1T14, P2T14, P3T14), выявлены следующие общие признаки: присутствие погребенных гумусовых горизонтов; окраска профиля от светло-серой до темно-серой в местах скопления новообразований карбонатов и гипса, и буроватые оттенки по остальным горизонтам; признаки оглеения в нижних слоях профиля; присутствие «гажевых» отложений в верхней части профиля различной мощности; наличие в некоторых слоях ракушек моллюсков (таблица).

Объекты исследования

Номер разреза	Местоположение разреза	Название почвы по классификации	
		1977 г.	2004 г.
P1X13	В пойме реки Харётка	Ad-A-Bca-[A]-Bca-G – Аллювиальная луговая, карбонатсодержащая среднемелкая среднегу- мусированная на аллюви- альных суглинках	AJ-BCA-[A]-BCA-Q – Светлогумусовая гидрометаморфическая
P5H09	В пойме реки Залари в 50 м от уреза воды	A-ABca-Bg,ca-BCg,ca – Луговая солончаковая, малогумусная мало- мощная на аллювиаль- ных суглинках	AU-Bca-BCs,g-Cg – Темногумусовая засоленная
P7Y13	Зачистка берегового обнажения реки Унга	A-[A]-B1ca,cs-B2ca,cs-G – Лугово-черноземная, многогумусированная мелкая карбонатсодер- жащая на аллювиаль- ных суглинках	A-AUnc-CRH-G-CG – Черноземовидная глеевая сегрегационная мелкая глубокоогле- енная карбонатная среднесуглинистая на аллювиальных отло- жениях

Номер разреза	Местоположение разреза	Название почвы по классификации	
		1977 г.	2004 г.
P1H10	В притеррасной части поймы реки Залари, в 200 метрах от сероводородного источника Новонукутская мацеста	Ad-A-ABca-Bca-BCca,cs-Sca,cs – Чернозём карбонатный, малогумусированный, маломощный на аллювиальных суглинках	AU-Bca-CAT-Cca – Чернозем текстурно-карбонатный, малогумусированный, маломощный
P1T14	Зачистка берегового вала реки Тангутка	A-AB-Bca,s-C – Лугово-каштановая среднегумусовая маломощная на аллювиальных суглинках	AJ-Bca-Cca,s-C – Светлогумусовая засоленная
P2T14	Зачистка берегового вала реки Тангутка	A-[A]-B-Bca,g-Cg(G) – Солончак гидроморфный маломощный карбонатный на аллювиальных суглинках	A-S-Bca,g-CGs – Солончак темный
P3T14	Зачистка берегового вала реки Тангутка	Ad-A-Bg-CD – Аллювиальная луговая насыщенная маломощная малогумусированная на аллювиальных суглинках	AY-B-Gs-CG~ – Аллювиальная серогумусовая глеевая засоленная

Реакция почвенного раствора по всем разрезам варьирует от слабощелочной до щелочной. Только в разрезе P3T14 на глубине 90–120 см значение актуальной кислотности водной суспензии составляет 6,6. Почти все исследуемые почвы можно отнести к среднегумусовым, так как процентное содержание гумуса колеблется от 1,26 до 6,64%. Содержание гумуса в верхних горизонтах максимально. И только почвенный профиль P1H10 относится к малогумусному, об этом свидетельствует процентное содержание, значение которого варьируют от 0,4 до 3,0%, с максимальным содержанием на глубине 10–20 см. Столь малое содержание органического вещества объясняется тем, что в 200 метрах от заложенного разреза находится сероводородный источник «Нукутская Мацеста». Содержание карбонатов в разрезах варьирует от 2,12 до 22,75%. Исходя из результатов анализа водной вытяжки, можно сделать вывод, что главную роль в засолении данных почв играет ион кальция и сульфат-ион, другие ионы содержатся в меньшем количестве, следовательно, преобладающий тип засоления в этих почвах по анионам сульфатный, по катионам кальциевый. Исключением является P1H10, здесь главную роль в засолении играет ион натрия и сульфат-ион, это значит, что тип засоления по катионам натриевый, по анионам сульфатный. При сульфатном засолении, если содержание иона кальция меньше, чем сульфат-иона, то засоление считается гипсовым. По величине сухого остатка почвы относятся к сильнозасоленным (до 2,75%).

Результаты статистической обработки массовых данных содержания гипса в исследуемых почвах дают нам представление о профилном распределении гипса. Величина среднего содержания M_e показывает, что содержание гипса достаточно высокое по всему усредненному профилю. Самый высокий показатель содержания гипса характерен для горизонта, который находится на глубине 100–110 см (52,04%), а самый низкий показатель на глубине 70–80 см (2,00%). Наибольшее стандартное отклонение от средней величины находится на глубине 100–110 см.

Гипсоносные аллювиальные почвы Южного Приангарья формируются под влиянием засушливого климата. К характерным признакам гипсоносных почв относятся наличие гипсового горизонта с разными формами гипсовых новообразований, горизонта скопления карбонатов и наличие признаков обводненности территории в виде ракушек моллюсков.

Литература

1. Хисматуллин Ш.Д. Засоленные почвы речных долин лесостепных районов Верхнего Приангарья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1962. С. 298–310.
2. Бояркин В.М., Бояркин И.В. География Иркутской области (природа, население, хозяйство, экология): учеб. пособие. 6-е изд., перераб. и доп. Иркутск: Сарма, 2007. 262 с.
3. Беркин Н.С., Филиппова С.А. Иркутская область (природные условия административных районов): учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 1993. С. 185–195.

УДК 631.472+631.445.9

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-6

Диагностика почв подгольцового пояса Среднего Урала

М.А. Кондратьева, И.А. Самофалова*

*Пермский государственный аграрно-технологический университет,
Пермь, Россия*

**samofalovairaida@mail.ru*

Аннотация. Приведена диагностика почв подгольцового пояса на Среднем Урале. На основе выделенных диагностических горизонтов определены типы почв разных отделов постлитогенного почвообразования. Выделены подтиповые диагностические признаки почв: переходные, процессный, породный. В целом для почв подгольцового пояса характерно наличие грубого органического вещества, признаков ожелезнения.

Ключевые слова: горные почвы, горизонты, свойства, диагностика, классификация

Diagnostics of soils of the subalpine zone of the Middle Urals

M.A. Kondrateva, I.A. Samofalova*

Perm State Agro-Technological University, Perm, Russian Federation

**samofalovairaida@mail.ru*

Summary. The diagnostics of soils of the subalpine zone in the Middle Urals is given. Based on the identified diagnostic horizons, the soil types of the postlithogenic soil formation departments are determined. Subtype diagnostic features of soils are identified: transitional, process, and parent material. In general, the soils of the subalpine zone are characterized by the presence of coarse organic matter and signs of ferruginization.

Keywords: mountain soils, horizons, properties, diagnostics, classification

Почвенный покров заповедных территорий горных ландшафтов остается малоизученным и его разнообразие практически не представлено на имеющихся картах [1]. Сведения о почвенном покрове заповедников ограничиваются в большинстве случаев материалами почвенно-географических исследований [1–3]. Инвентаризация почв заповедников является актуальной задачей и в настоящее время [4]. В терминах и понятиях классификации почв России 2004–2008 гг. диагностика почв базируется на установлении диагностических горизонтов и/или генетических признаков. Идентификация горизонтов осуществляется на основе комплекса признаков, ведущая роль при этом принадлежит диагностическим критериям, представляющим собой сочетание наиболее важных для идентификации характеристик почвы на уровне трех высших таксонов классификации [5–8].

Цель исследования – выполнить диагностику генетических горизонтов почв подгольцового пояса Среднего Урала и определить их классификационное положение. По Станюковичу [9], тип поясности – западно-евроазиатский, включающий ландшафты темно-хвойных лесов европейского типа, стланики еловые, пихтовые, сосновые и др., а также тундры. Согласно карте почвенно-географического районирования Национального атласа почв Российской Федерации, территория заповедника относится к Средне-Уральской горной почвенной провинции и имеет индивидуальную структуру вертикальной поясности [10].

Почвы подгольцового пояса исследованы на примере хребта Басеги, который входит в состав Государственного заповедника «Басеги». Хребет сложен метаморфическими породами (хлоритовыми, хлорито-серицитовыми и слюдистыми сланцами, кварцитами). Климат отличается резкими колебаниями среднегодовой температуры воздуха, также дневной и ночной температур. Средняя годовая температура воздуха ниже 0 °С. Лето умеренно-теплое, короткое, безморозный период длится в среднем 70–80 дней. Среднегодовое количество осадков варьирует от 496 мм до 1071 мм. Средняя глубина снежного покрова 115–120 см на западных склонах и почти на 30 см меньше на

восточных. В долинах глубина снежного покрова в 2–3 раза больше, чем на вершинах (не более 50–70 см). Климатические условия обеспечивают промывной режим, низкую микробиологическую активность из-за недостатка тепла, малоактивного разложения органических остатков. Длительное промораживание почв приводит к развитию криогенного ожелезнения.

Подгольцовый пояс приурочен к высотам 650–870 м в зависимости от экспозиции [11, 12]. В подгольцовом поясе выделяют подпояса: криволесье, субальпийские луга, парковое редколесье [13]. Почвы подгольцового пояса характеризуются водным режимом промывного типа, развиваются в условиях пониженного поверхностного увлажнения, что обеспечивается их расположением на плосковыпуклых вершинах, пологих и крутых склонах. Парковое редколесье начинается на границе горно-лесного и подгольцового пояса – крупнотравные елово-пихтовые леса. Постепенно, с увеличением высоты, возрастает доля кустарничков, мелких папоротников, щучки извилистой. Выше по склону высота деревьев становится ниже. Береза, ель и изредка пихта растут небольшими куртинами, между которыми встречаются субальпийские поляны. В местах с достаточным слоем мелкозема развиваются крупнотравные ассоциации, на каменистых участках – зеленомошные. На выровненных и выположенных участках парковое редколесье переходит в естественные луга, приуроченные к нижней части криволесья и в болотные биоценозы на верхней границе леса. Основные площади лугов (мезофильные и криофильные луга) сосредоточены на восточных и западных склонах хребта и в межгорных седловинах [13, 14]. Мезофильные луга самые широко распространенные и располагаются на более или менее плоских поверхностях. Высокотравные луга встречаются в нижней части подгольцового пояса. Криофильные луга занимают небольшие участки горной тундры в местах накопления снега. Парковые леса с высотой постепенно переходят в криволесье, где деревянистая растительность находится в состоянии резкого угнетения и представлена в виде небольших участков. На верхней границе криволесья деревья представлены карликовыми формами, пихта и можжевельник стелются, достигая высоты не более 1 м. Выше по склонам роль травяного яруса в криволесье усиливается, луговые поляны расширяются.

Почвенные разрезы заложены в подпоясах (645–851 м н.у.м.): парковое редколесье – луга – луга-криволесье – криволесье. Почвы хорошо дренированы и имеют средне- и сильнокаменистый профиль (местами грубообломочный) мощностью от 20–25 до 55–60 см.

В парковом редколесье на лесной поляне среди коренного пихтово-елового леса на высоте 645 м. заложен разрез 6, уклон 2°. Древесный ярус разрежен: 1 ярус состоит из ели и пихты высотой до 30 м, во втором ярусе – береза; хорошо сформирован кустарниковый ярус из малины, рябины; травянистый ярус: щитовник, с участием голубики, седмичник европейский, зеленые мхи. Профиль почвы мощностью 55 см имеет вид: *O-ao-AYel-BM-BMCsk-C*. Гор. *ao* мощностью 5 см имеет темно-серую окраску, состоит из хорошо разложившихся органических остатков со светлыми зернами минералов. Со-

держание органических остатков, определяемое как потеря при прокаливании, составило 11%. Ниже залегает горизонт *AYel* буровато-серый, тонкоплитчатый, пропитанный белесоватой присыпкой. Гор. *BM* (23 см) бурый, среднесуглинистый, комковато-ореховатый. Почва имеет pH 3,5–4,2 ед., содержание гумуса в гор. *ao* и *AYel* 3,4% и 3,1% соответственно. Почва: *бурозем грубогумусированный элювиированный скелетный*.

Под высокотравными лугами в сочетании с редко стоящими березами и елями на высоте 766 м заложен разрез 4, уклон 13°. Состав растительности: чемерица, шавель конский, горец змеинный, кипрей, борец северный, папоротник, зверобой, манжетка, ежа сборная. Строение профиля: *O-AY-AYsk-Cm.f.sk-R*. Профиль представляет собой смесь крупных валунов с мелкоземом. Гор. *AY* (11 см) буровато-серый, неясно-комковатый, содержание гумуса 3,12%. В нижней части профиля возрастает щебнистость, на нижней поверхности валунов присутствуют пятна охристого цвета. Порода залегает на глубине 50 см (элювий массивно-кристаллических пород). Реакция среды в профиле 4,12–4,22 ед., понижаясь в срединной части до 3,7. Почва: *серогумусовая метаморфизированная ожелезненная скелетная*.

В березовом криволесье на высоте 851 м заложен разрез 3. Растительность древесного яруса угнетена, стволы искривлены: береза, пихта, рябина (3–4 м), в кустарниковом ярусе – можжевельник; напочвенный покров: мхи, лишайники, ягодные кустарнички. Профиль мощностью до 30 см: *Oot-ao-AYsk-Csk*, сформирован на грубых обломках кварцитов. Органогенный горизонт (6 см) представляет собой оторфованную подстилку из отмерших фрагментов мохово-лишайниковой растительности желтовато-бурого цвета. Ниже залегает грубогумусированный горизонт *ao* (7 см) – темно-серый с бурым оттенком из хорошо разложившихся органических остатков, густо пронизанных корнями, содержание углерода 28%, pH 3,4 ед. Серогумусовый горизонт мощностью 15 см пронизан корнями, имеет буровато-серую окраску, содержит мелкий щебень. Ниже залегают грубые обломки кварцита. Почва: *литозем серогумусовый грубогумусированный скелетный*.

В переходной зоне на границе криволесья и тундры заложен разрез 2, где в напочвенном покрове доминируют кустарнички голубики и черники, мхи и лишайники, уклон 11°. Профиль: *O-tj-au-Cm-[BHF]-[BF]-C*. Гор. *O* из неоднородного органического материала буро-коричневого цвета. Содержание органического вещества 88% от массы горизонта, pH 2,9 ед. Гор. *tj* выделяется в профиле фрагментарно, имеет темно-бурую, почти черную окраску, выраженную слоистость, состоит из хорошо разложившихся органических остатков, содержание органического вещества 29%, pH 3,3. В верхней части гор. *C* присутствуют слабые признаки комковатости, что позволяет выделить подгоризонт *Cm*. Погребенный альфегумусовый горизонт (до 8 см) выделяется фрагментарно, содержание гумуса 3,8%, pH 3,6. Гор. *BF* охристо-коричневого цвета с содержанием гумуса 1,3%, pH 4,0. Почва: *литозем серогумусовый сухоторфянистый на подбуре иллювиально-железистом*.

В пределах подгольцового пояса почвенный покров характеризуется разнообразием. Определены почвы следующих отделов: структурно-метаморфические, альфегумусовые, органо-аккумулятивные, литозёмы. Для почв подгольцового пояса характерно наличие грубого органического вещества, признаков ожелезнения.

Литература

1. Самофалова И.А., Кондратьева М.А. Почвы Среднего Урала в системе классификации почв России // Эволюция почв и развитие научных представлений в почвоведении: сборник научных трудов; Межд. науч. конф-я, посвященная 90-летию со дня рождения Бурлаковой Л.Д. (г. Барнаул, 16–21 августа 2022 г.). Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2022. С. 79–83.
2. Иванова Е.Н. Почвы Урала // Почвоведение. 1947. № 4. С. 213–227.
3. Орлянский Н.А. Мониторинг территории Дарвинского государственного природного биосферного заповедника // Агрохимический вестник. 2010. № 4. С. 5–7.
4. Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е. Почвы горных территорий в классификации почв России // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 122–146. doi: 10.19047/0136-1694-2018-92-122-146
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
6. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
7. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Диагностические горизонты в классификации почв России: версия 2021 г. // Почвоведение. 2021. № 8. С. 899–910.
8. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Предлагаемые изменения в классификации почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы // Почвоведение. 2022. № 1. С. 3–14.
9. Станюкович К.В. Растительность высокогорий СССР. Сталинабад: Изд-во АН Таджикской ССР, 1960. 169 с.
10. Национальный атлас почв Российской Федерации // С. Шоба [и др.]. Астрель: АСТ Москва, 2011. 632 с.
11. Самофалова И.А. Почва как компонент охраняемых ландшафтов в системе ООПТ (на примере ФГБУ «Государственный заповедник «Басеги») // Агрохимический вестник. 2021. № 1. С. 19–27.
12. Самофалова И.А. Использование бассейнового подхода для изучения дифференциации растительного и почвенного покровов (хребет Басеги, Средний Урал) // География и природные ресурсы. 2020. № 1. Р. 175–184. doi: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(175-184)
13. Горчаковский П.Л. Растительный мир высокогорного Урала. М.: Наука, 1975. С. 13–67.
14. Овеснов А.М. Горные луга западного Урала. Пермь: Молотовское областное государственное издательство, 1952. 130 с.

Высотно-климатические тренды и пространственные закономерности почвообразования на юге Лено-Ангарского плато

С.Н. Лесовая*, А.А. Соколов, Ю.Н. Курочкин

Санкт-Петербургский государственный университет,

Санкт-Петербург, Россия

**s.lesovaya@spbu.ru*

Аннотация. Показано, что выщелачивание карбонатов и формирование текстурно-дифференцированных почв на высотах более 1000 м согласуется с эффектом резкого увеличения количества осадков с высотой и максимальным гравитационным переносом почвенных растворов вниз по профилю в летний период. Специфические черты почвообразования – выщелачивание карбонатов и наличие практически с поверхности карбонатных новообразований – характеризуют почвы на высотах 600–700 м. Эти процессы обусловлены проявлением летнего дефицита влаги в результате интенсивного испарения при более высоких температурах, чем на больших высотах, что сопровождается усилением роли капиллярного переноса в общем переносе растворов.

Ключевые слова: текстурно-дифференцированные и структурно-метаморфические почвы, режим осадков, плювиометрический градиент

Spatial patterns of soil formation affected by altitudinal climatic trends in the south of the Lena-Angarsky plateau

S.N. Lesovaya*, A.A. Sokolov, Y.N. Kurochkin

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

**s.lesovaya@spbu.ru*

Summary. The data of the meteorological stations located at different altitudes on the area of the Lena-Angara plateau were analyzed. The altitude-climatic trends of pedogenesis from the red-colored calcareous-silicate hard rocks were revealed based on these results. The intensive leaching of carbonates in the soil profile and formation of texture-differentiated soils at altitudes >1000 m occur simultaneously with increase of bulk precipitation, a water oversaturation of topsoil, and predominance of maximum gravitational transport of soil solutions down the profile in summer. The weakly differentiated soils with specific features (leaching of inherited carbonates and presence of carbonate pedofeatures) have formed at altitudes of 600–700 m. The latter is a result of the decrease of precipitation and increase of evaporation from the soil surface that determines the migration of soil solutions.

Keywords: texture-differentiated and structure-metamorphic soils, precipitation regime, pluviometric gradient

Лено-Ангарское плато расположено в Восточной Сибири, к западу от озера Байкал и является юго-восточной частью Среднесибирского плоскогорья. Климат на территории плато резко континентальный со среднегодовой температурой от $-3,7$ до $-4,5$ °С, с безморозным периодом в речных долинах и на водоразделах более 100 дней. В южной части плато выпадает около 350 мм осадков, из которых до 55% приходится на летний период с максимумом в июле, снежный покров достигает 30–40 см на юге территории [1]. Ярусность, характерная для плато, наиболее выражена в долине р. Лены между населенными пунктами Качуг и Жигалово. Абсолютные отметки высот здесь составляют от 500 до 900 м, высоты более 1000 м встречаются реже [2]. В южной части плато широко распространены верхнекембрийские карбонатно-силикатные красноцветные отложения, представленные песчаниками, алевролитами, аргиллитами [3], которые выступают почвообразующими породами на этой территории [4, 5]. Для почв на этих породах показаны как общие с европейскими аналогами черты почвообразования (формирование текстурной дифференциации в выщелоченной части профиля), так и специфические (сочетание процессов выщелачивания карбонатов и формирования карбонатных новообразований в лесных почвах) [6, 7].

Целью работы является на основании анализа данных метеостанций, расположенных на разных высотах, обосновать высотно-климатические закономерности, влияющие на направленность почвообразования на плотных красноцветных карбонатно-силикатных породах юга Лено-Ангарского плато.

Были проанализированы данные метеостанций, расположенных на различных абсолютных высотах как на территории распространения красноцветных отложений на юге Лено-Ангарского плато, так и за ее пределами. На основании проведенных расчетов показано, что на высотах от 950 м и более 1000 м происходит увеличение валовых осадков при резком положительном изменении плювиометрического градиента. Происходит увеличение дифференциации в сезонном распределении осадков с выраженным летним максимумом. Перенасыщение водой обуславливает максимальный гравитационный перенос почвенных растворов вниз по профилю в летний период и препятствует движению растворов в осенний период к фронту промерзания.

В этих условиях происходит интенсивное выщелачивание унаследованных от породы карбонатов, как следствие, снижение значений pH и формирование текстурной дифференциации профиля. То, что формирование текстурно-дифференцированного профиля происходит в однородном субстрате, а не обусловлено двучленностью почвообразующей породы, подтверждают данные минералогического состава илистой фракции. По всему профилю диагностирована единая ассоциация глинистых минералов с закономерным для такого типа профилей распределением минеральных фаз.

Ниже по рельефу, уже на высотах 800–950 м, из-за относительно меньшего количества осадков и более высоких температур, происходит более интенсивное испарение и подъем растворов в почвенном профиле. Эти результаты хорошо согласуются с проявлением в структурно-метаморфических

почвах элювиально-иллювиального перераспределения тонкодисперсного материала на уровне признака и наличием в них карбонатных новообразований. Классификационная принадлежность почв в данной работе дана в соответствии с подходами профилно-генетической классификации почв России [8]. С понижением высоты (600–800 м) увлажнение уменьшается, усиливается летний дефицит влаги. В профиле диагностированы карбонатные новообразования, которые на высотах 600–700 м формируются практически с поверхности.

Растительность территории на ключевых участках нарушена старыми пожарами и, местами, вырубками, что исключает ее определяющую роль при реализации различных направлений почвообразования.

Таким образом, в ландшафтах юга Лено-Ангарского плато смена с высокой структурно-метаморфического направления почвообразования текстурно-дифференцированным определяется гумидностью климата в зависимости от высоты местности. Кроме того, на основании проведенных расчетов показано, что при сохранении выявленных текущих гидротермических тенденций, будет происходить усиление процесса формирования карбонатных новообразований в почвах на больших высотах с преобладанием этого процесса над выщелачиванием карбонатов.

Литература

1. Коновалова Т.И., Ноговицын В.Н. Геосистемы Лено-Ангарского плато // Известия Иркутского гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2015. Т. 14. С. 46–54.
2. Уфимцев Г.Ф. [и др.] Геоморфология и морфотектоника Лено-Ангарского плато // Геоморфология. 2005. № 2. С. 97–106.
3. Карта геологических формаций чехла Сибирской платформы / под ред. Н.С. Малич. М.: Аэрогеология, 1976. 9 л.
4. Воробьева Г.А. Особенности эволюции и генезиса почв Лено-Ангарского плато: дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: Б.и., 1972. 258 с.
5. Кузьмин В.А. Почвы Предбайкалья и Северного Забайкалья. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1988. 175 с.
6. Горячкин С., Лесовая С., Конюшков Д. Почвы на карбонатных породах Прибайкалья: педоклиматогенная специфика химико-минералогических свойств и генезиса // Генеза, географія та екологія ґрунтів: сб. тр. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2008. С. 205–213.
7. Лесовая С.Н. [и др.] Почвы на красноцветных карбонатных отложениях Лено-Ангарского плато: факторные границы текстурной дифференциации // Почвоведение. 2024. № 12. С. 1690–1704.
8. Полевой определитель почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

Таготский гидролакколит в Приольхонье

О.Г. Лопатовская

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
lopatovs@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования почвы, которая сформировалась на карбонатных озерных отложениях в Тажеранских степях Приольхонья. Показана история развития почвы, генезис, рассмотрено изменение физико-химических свойств и сделан прогноз на ее функционирование. Приводятся результаты исследования почвы с использованием современных методов. Это позволяет выявить основные свойства почвы. Они характеризуют ее как слабозасоленную, карбонатную и содержащую большое количество обменных оснований.

Ключевые слова: Приольхонье, гидролакколит, генезис, почва, регосоль

Tagot hydrolaccolite in Priolkhonye

O.G. Lopatovskaya

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation
lopatovs@mail.ru

Summary. The article presents the results of the study of the soil that was formed on carbonate lake deposits in the Tazheran steppes of Priolkhonye. The history of soil development, genesis, changes in physical and chemical properties are shown, and a forecast for its functioning is made. The results of the soil study using modern methods are presented. This allows us to identify the main properties of the soil. They characterize it as slightly saline, carbonate and containing a large number of exchangeable bases.

Keywords: Priolkhonye, hydrolaccolith, genesis, soil, regosol

Гидролакколит – это многолетний бугор пучения с ледяным ядром, образующийся в результате увеличения объема подземной воды при замерзании в области развития многолетнемерзлых пород, вследствие давления зажатой в мерзлоте воды и ее подъема вверх, что приводит к выпячиванию кровли грунта.

Таготский гидролакколит и примыкающие к нему термокарстовые озера являются свидетельствами существования в Приольхонье островной многолетней мерзлоты в Тажеранской степи. Мерзлота обнаруживается в рыхлых и коренных породах, фиксируется в озерных и аллювиальных отложениях.

Наш гидролакколит расположен в приустьевой части Таготской долины на расстоянии 0,7–1 км от Мухорского залива оз. Байкал. Относительная высота бугра пучения в настоящее время 2–2,5 м над поверхностью окружаю-

щего его безымянного озера. С севера и юга бугор оборван отвесными стенками, которые возникли над свежими провальными озерами.

На гидролакколите формируется почва – регосо́ль. Согласно почвенным классификациям (Классификация 2004 г и Международная классификация WRB [1, 2]) подобные почвы имеют профиль А-Ск-С. Их можно отнести к отделу слабообразованных почв, типу пелоземы гумусовые с профилем W-C= в подтипе типичные – W-C=, засоленные – W-Cs=.

Регосо́ль имеет слабо выраженные педогенные признаки, она карбонатная. В средней части профиля, с глубины 60 см, отчетливо выделяется погребенный органогенный горизонт, содержащий растительные остатки, что свидетельствует о гидроморфной стадии развития. Почвообразование мало интенсивно, так как лимитируется многолетней мерзлотой.

На генезис оказали следующие факторы: близкое залегание минерализованных грунтовых вод, наличие многолетней мерзлоты, смена процессов промерзания-оттаивания, сухость климата ($KY < 1$), ксерофитная растительность, карбонатность почвообразующих пород. Специфику физико-химических свойств обусловили: слоистость почвы, наличие минеральных и погребенных органогенных (торфянистых) горизонтов, присутствие мелкозема, привносимого со склонов окружающих Приольхонье возвышенностей, включение раковин моллюсков. Небольшое количество осадков (200–300 мм в год) не позволяет почве промачиваться до уровня грунтовых вод. Почва содержит карбонаты по всему профилю, о чем свидетельствуют вскипание от 10% HCl, белесый цвет всей почвенной толщи. Карбонаты в основном мучнистые и пропитывают весь профиль. Химический анализ характеризует почву как высококарбонатную.

Содержание CaCO_3 в почве от 14,5 до 68,2 %, максимальное количество в средней части профиля у мерзлого горизонта на глубине 40–70 см. В средней и нижней части профиля происходило осаждение карбонатов в холодный период эволюции почв. В настоящее время здесь же отмечается максимум легкорастворимых солей. Карбонатный горизонт препятствует миграции веществ внутри профиля, особенно в нижней его части.

Электропроводность высокая в верхней и средней частях профиля, буровато до мерзлого горизонта (до 2,01 мСм/см). pH водной суспензии от нейтрального вверху до слабощелочного внизу. Образование органического вещества проходило в условиях гидроморфного режима, когда на месте гидролакколита было озеро, эволюционирующее в болото, о чем свидетельствуют погребенные «торфянистый» и «сапропелевый» горизонты. Содержание гумуса уменьшается по профилю сверху вниз (8,3–1,8%) до почвообразующей породы. Азота не более 0,7% вверху и 0,1% внизу профиля. Доля неорганического углерода от 1 до 8%, что обусловлено карбонатностью отложений и донного сапропеля. Фосфор находится в пределах сотых долей процента, либо не обнаруживается. Содержание обменных калия и натрия соответствует профильному распределению солей: от 0,8 мг/л в верхней части профиля до 3,92 мг/л в нижней его части.

Содержание подвижных форм азота связано с деятельностью микроорганизмов, особенно летом. Продукты жизнедеятельности аккумулируются на границе с мерзлым горизонтом. Поэтому на глубине 30–40 см увеличивается содержание NO_3 и NH_4 . Здесь морфологически выражены отложения озерного сапропеля, богатого органическими остатками. Нитраты сосредоточены в средней части профиля, где залегает погребенный органогенный горизонт (до 796 мг/кг), внизу их количество резко уменьшается (23 мг/кг) за счет отсутствия органики в карбонатных отложениях. Аммоний присутствует в почве в виде водорастворимых солей, и содержание его равномерно по профилю (13–25 мг/кг), за исключением верхнего горизонта.

Содержание обменных оснований высокое, что связано с их большим количеством в донных отложениях. Среди обменных катионов кальция (до 80 ммоль/100 г) преобладает над магнием (до 48 ммоль/100 г), так как катионы входят в состав карбонатных почвообразующих пород. Обменных натрия и калия – в пределах от сотых долей до 3 ммоль/100 г почвы, что характерно для почв, подпитываемых грунтовыми водами с невысокой минерализацией. В таких почвах кальция и магний, как правило, преобладают над калием и натрием. Колебания соотношений обменных катионов также связаны с близким залеганием грунтовых вод. Сульфаты кальция присутствуют в озерных водах [3].

В верхней части профиля грансостав песчаный и супесчаный. Ниже переходит в легкие суглинки, затем глины и внизу снова становится суглинистым на глубине 90–100 см. Наличие песчаных фракций, вероятно, связано с разрушением почвообразующих пород либо с палеоклиматической обстановкой в регионе. Почва развивалась в условиях седиментогенеза под влиянием озерных отложений. Тогда же происходило образование карстовых озер, куда сносился рыхлый материал. Заполнение карстовых полостей водой происходило в начале потепления в период голоцена (в интервале времени от 10 до 6,5 тыс. лет назад) [4].

Результаты анализа водной вытяжки позволяют отнести почву к слабозасоленной. Максимум солей на глубине 10–50 см от 1,1 до 1,4%. В составе водорастворимых солей преобладают нетоксичные нейтральные соли – сульфаты кальция и магния. Подобное профильное распределение солей характерно для почв Приольхонья, в которых нет источников поступления хлоридов натрия и калия. Соли аккумулируются у мерзлого горизонта, который препятствует их миграции. Перемещению солей может способствовать вымораживание влаги, поступающей из озера, около гидролакколита.

На глубине 50–60 см отмечается накопление CaCO_3 . В морфологии почвенного профиля граница 60–70 см выражается в скоплении карбонатов, утяжелении грансостава. Верхняя граница мерзлого горизонта располагается до глубины подошвы почвенного профиля. На глубине 80–90 см обнаружены кристаллы льда и характерная для мерзлого горизонта структура почвенных агрегатов с глянцево-поверхностью (криогенная плитчатость). pH почвы увеличивается сверху вниз от нейтральной (7,5) до слабощелочной (8,2). Электропроводность изменяется неравномерно, достигая максимума в средней части профиля (0,5–3,5 мс/см).

Условия формирования регосоли и ее современный вид таковы, что внутри профиля сохранились мерзлые горизонты, остатки сапропеля и торфа, моллюски, карбонатные новообразования. Почва относится к слабозасоленной по процентному содержанию солей. Грансостав изменяется от супесчаного до глинистого, поскольку отложения, на которых формируется почва, претерпели несколько стадий преобразований. В почве присутствуют обменные катионы, причем кальций преобладает над магнием, а в средней части профиля присутствует натрий. рН от нейтрального до слабощелочного. Выявлена аккумуляция гумуса в верхней части профиля, с постепенным уменьшением вниз. Содержание нитратной и аммонийной форм азота высокое. Результаты анализов подтверждают озерно-болотный генезис регосоли.

Литература

1. Классификация и диагностика почв России / авт. и сост.: Л.Л. Шишов [и др.]. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
2. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Исправленная и дополненная версия 2015 / под ред. М.И. Герасимовой, П.В. Красильникова. М.: ФАО, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2017. 205 с.
3. Лопатовская О.Г. Физико-химические свойства регосоли в Предбайкалье // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI в. Новосибирск; Томск: Изд. Дом ТГУ, 2017. Ч. 1. С. 107–110.
4. Мац В.Д., Уфимцев Г.В., Мандельбаум М.М. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 251 с.

УДК 631.48

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-9

Особенности процесса почвообразования в почвах Южного Предбайкалья

У.И. Людвиг*, А.А. Козлова

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

**lyudvig.ulyana@yandex.ru*

Аннотация. Процесс почвообразования в Южном Прибайкалье имеет свои особенности, обусловленные взаимодействием различных факторов. Рельеф является ведущим фактором перераспределения тепла и влаги, что оказывает существенное влияние на распространение и типологию почв региона. Особенность почвообразования выражается в резком отличии физических, химических, физико-химических свойств почв от европейских аналогов.

Ключевые слова: формирование почв, Южное Предбайкалье, факторы почвообразования

Peculiarities of the process of soil formation in the soils of the Southern Cis-Baikal region

W.I. Ludwig*, A.A. Kozlova

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

**lyudvig.ulyana@yandex.ru*

Summary. The process of soil formation in the Southern Baikal region has its own characteristics, caused by the interaction of various factors. Relief is the leading factor in the redistribution of heat and moisture, which has a significant impact on the distribution and typology of soils in the region. The peculiarity of soil formation is expressed in a sharp difference in the physical, chemical, physicochemical properties of soils from European analogue.

Keywords: soil formation, Southern Baikal region, soil formation factors

Почвообразовательным процессом называется совокупность явлений превращения и передвижения веществ и энергии, протекающих в почвенной толще. Агентами почвообразования являются живые организмы и продукты их жизнедеятельности, вода, кислород воздуха и углекислота [1]. Он включает в себя разложение горных пород, взаимодействие с живыми организмами, климатические условия, а также влияние рельефа местности [2]. Эти факторы действуют в сложном взаимодействии друг с другом, что делает почвообразование динамичным и разнообразным процессом [3].

Южное Предбайкалье находится в центре Азиатского материка и занимает равнинную, юго-восточную часть Среднесибирского плоскогорья. Ведущим фактором почвообразования в регионе является рельеф. Он обуславливает основные природные закономерности рассматриваемой территории. Своеобразие механизмов местной циркуляции воздуха связано с горным характером рельефа, проявлением вертикальной поясности, котловинного эффекта и аридно-теневой зональности. Общая ориентация макросклонов хребтов на запад (северо-запад) и восток (юго-восток), господствующий западный перенос воздушных масс усиливают роль экспозиционного фактора. Различия в количестве осадков усиливают тепловую дифференциацию склонов: на северных склонах их выпадает больше, чем на южных [4, 5].

Наблюдаются резкие границы, быстрый переход от злаково-разнотравных лесостепей и степей в подтаежные светлосвойные сосновые ландшафты [6]. На вершинах водоразделов и увалов складывающийся особый гумидный микроклимат способствует формированию почв подтайги: дерново-подзолистых, буроземов оподзоленных и буроземов темных остаточнокarbonатных. В средних и нижних частях склонов, где происходит более интенсивное накопление органики, а также возможное быстрое стекание влаги (ее недостаток), развиваются почвы лесостепи и степи – это серые типичные и серые неоподзоленные, черноземы глинисто-иллювиальные и черноземы дисперсно-карбонатные [4].

Дерново-подзолистые почвы в Южном Предбайкалье занимают наветренные склоны северо-западной экспозиции и вершины водоразделов, холмов и увалов Иркутско-Черемховской равнины и южной части Предбайкальской впадины [5].

Поскольку они формируются в условиях периодически промывного водного режима, спецификой их свойств являются: слабокислая реакция, отсутствие обменной кислотности, высокая насыщенность почв обменными основаниями, а верхних горизонтов – гумусом. Этим они заметно отличаются от своих европейских аналогов. Процессы подзолообразования в них заторможены, чему способствуют сухость и холодность климата, основность пород, периодически промывной тип водного режима.

Для буроземов оподзоленных в Южном Предбайкалье характерно их распространение на наветренной более увлажненной стороне водоразделов, верхней части склонов холмов и увалов [4]. Их происхождение связано со свойствами материнских пород – богатством основаниями и первичными минералами [5]. Для профиля характерно наличие дернового горизонта, под которым располагается темно-серый или серовато-бурый гумусовый горизонт, имеющий мелкокомковатую непрочную структуру. В оподзоленных почвах нижняя часть горизонта А имеет светлую окраску [7]. Переход в горизонт В постепенный и выражается в изменении окраски, плотности и гранулометрического состава. Иллювиально-метаморфический горизонт имеет бурую окраску, крупнозернисто-комковатую структуру и более тяжелый, чем в горизонте А, гранулометрический состав. Однако по валовому составу значительных изменений в профиле не наблюдается, что позволяет считать горизонт В метаморфическим, а не иллювиальным [8]. При переходе к материнской породе окраска светлеет, а гранулометрический состав становится более легким. Наличие в профиле буроземов оподзоленных хорошо выраженного ореховатого с ярко бурой окраской горизонта В, часто более тяжелого по гранулометрическому составу, чем выше- и нижележащие горизонты, объясняется, прежде всего, литологической неоднородностью отложений.

Формирование буроземов темных остаточно-карбонатных в Южном Предбайкалье приурочено к местам выхода на поверхность сероцветных нижнекембрийских и красноцветных верхнекембрийских карбонатных пород верхоленской и братской свиты [4]. Для них характерен полноразвитый профиль, включающий лесную подстилку небольшой мощности, гумусовый горизонт темно-серой или коричнево-серой окраски, в котором встречаются обломки карбонатных пород, переходный горизонт (ВМ) бурой или коричневой окраски, зернистой структуры, как правило, карбонатный с обломками пород [7].

Следует отметить, что буроземы Южного Предбайкалья формируются в нехарактерных для их развития условиях – при недостатке тепла и влаги, длительном промерзании. Их диагностика объясняется слабой дифференциацией полуторных оксидов, ила и физической глины по профилю, малой мощностью гумусового горизонта, при этом высоким содержанием гумуса.

В аридной тени вертикальной поясности хребтов Западного и Восточного Саяна были созданы особые условия, которые способствовали формированию лесостепных и степных ландшафтов и почв [4]. Поэтому черноземы лесостепных и степных ландшафтов на территории Южного Предбайкалья не образуют крупных массивов, а располагаются участками, чередующимися с серыми лесными и лугово-черноземными почвами [5]. В основном, они располагаются на древних террасах рек, пологих южных склонах коренных берегов. Почвообразующими породами служат лёссовидные суглинки буровато-палевого цвета аллювиального и делювиального происхождения, обогащенные карбонатами кальция и магния [4]. Черноземы в регионе представлены в основном глинисто-иллювиальными и диспресно-карбонатными типами и подтипами. Первые в естественном состоянии формируются под луговыми ковыльно-разнотравными степями и приурочены обычно к нижним частям склонов. В пределах Южного Предбайкалья они являются преобладающим подтипом. Вторые в естественных условиях развиваются под злаково-попынными ассоциациями.

Влияние резкоконтинентального климата сказалось на мощности гумусового горизонта исследуемых черноземов, глубина которого составляет около 50 см. При этом им, по сравнению с восточноевропейскими черноземами, свойственны более высокие запасы органического вещества в верхнем 20-сантиметровом слое и более низкие – в метровом слое почвы.

Итак, котловинно-горный эффект и аридно-теневая форма вертикальной зональности почвенного покрова способствовали формированию сложного почвенно-растительного покрова. На вершинах водоразделов и увалов располагаются подтаежные ландшафты и почвы. Средняя и нижняя части склонов заняты лесостепными и степными ландшафтами и почвами. Экспозиция склонов также оказала существенное влияние на распределение почв. В связи с нахождением их долгое время в мерзлом состоянии, процессы подзолообразования, выщелачивания, оглинивания, лессиважа, гумусообразования и гумусонакопления заторможены. Это нашло свое отражение в редуцированности профиля почв данного региона, их гумусовых горизонтов, особенно у черноземов, а также в резком отличии физических, химических, физико-химических свойств от европейских аналогов.

Литература

1. Процессы почвообразования: учебное пособие / сост. С.Е. Витковская. СПб., 2022. 39 с.
2. Почвоведение: учеб. для ун-тов: в 2 ч. / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1: Почва и почвообразование. М.: Высш. шк., 1988. 400 с.
3. Основы почвоведения: учебное пособие / Б.Ф. Пшеничников [и др.]. Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2021. 69 с.
4. Козлова А.А. Разнообразие почв Южного Предбайкалья в условиях палеокриогенного микрорельефа, их трансформация при агропедогенезе: автореф. дис. ... д-ра биол. наук.: Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2021. 44 с.

5. Кузьмин В.А. Почвы Предбайкалья и Северного Забайкалья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 175 с.
6. Геосистемы контакта тайги и степи: юг Центральной Сибири / Е.П. Бессолицына [и др.]. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. 217 с.
7. Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 205 с.
8. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов [и др.]. Смоленск: Ойкумена, 2004. 324 с.

УДК 631.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-10

Почвы Ширинской степи: окрестности оз. Слабительное

Т.А. Марон, А.С. Саиспаева, А.В. Родикова*, С.П. Кулижский

Томский государственный университет, Томск, Россия

**rodikovaav@mail.ru*

Аннотация. Почвы окрестностей озера Слабительное представлены чернозёмом сегрегационным, чернозёмом дисперсно-карбонатным и солончаком типичным. Приведена краткая историческая справка о почвенных исследованиях Ширинской степи, дана характеристика условий формирования, состава и базовых свойств почв изучаемого участка.

Ключевые слова: степные почвы, Ширинский район, озеро Слабительное, Хакасия

Soils of the Shira steppe: the surroundings of Lake Slabitelnoe

T.A. Maron, A.S. Saispaeva, A.V. Rodikova*, S.P. Kulizhskiy

Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

**rodikovaav@mail.ru*

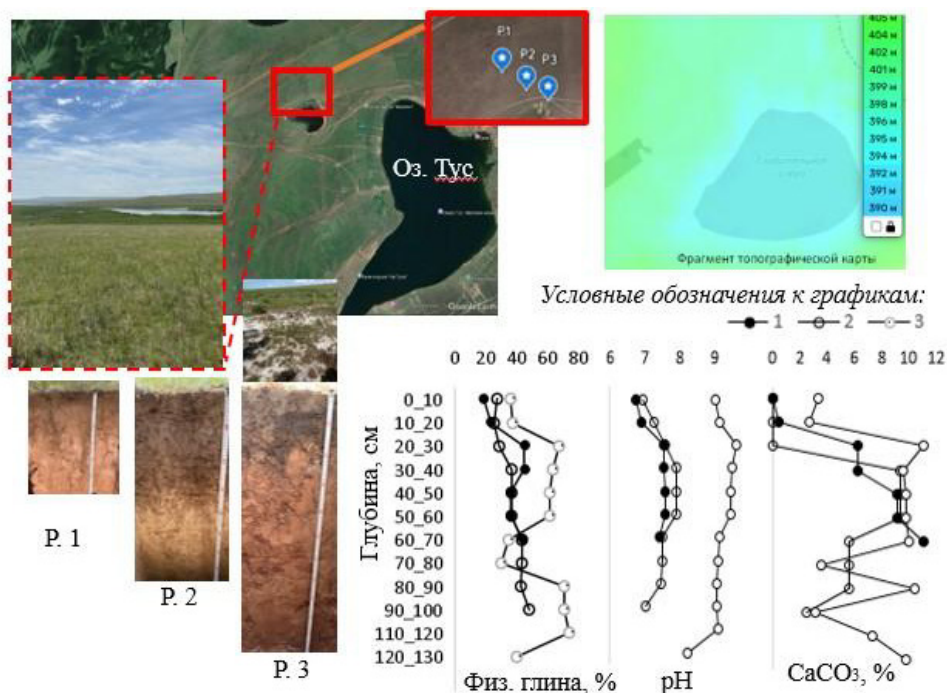
Summary. The soils of the vicinity of Lake Slabitelnoye are represented by segregation chernozem, dispersed-carbonate chernozem and typical solonchak. A brief historical background of soil studies of the Shirinskaya steppe is given, and the conditions of formation, composition and basic properties of soils are described.

Keywords: steppe soils, Shirinsky district, Lake Slabitelnoye, Khakassia

Систематические почвенные исследования Ширинской степи начинаются с 1908 г., и связаны они с функционированием переселенческого управления и освоением Азиатской России. Изыскания осуществлялись с целью землеустройства и первичной оценкой возможностей хозяйственного использования территорий [1]. Следующий этап работ был посвящен картированию и описанию почв в рамках изучения природы крупных регионов Сибири. Про-

ведённый в середине XX века, он в некоторой степени затронул и описываемую степь [2 и др.]. Многозадачные почвенные обследования реализованы в конце XX – начале XXI в. [3 и др.]. Они включают как почвенно-экологическую проблематику, так реализацию цели привлечения инвестиций в регион с рекреационным потенциалом, поскольку в Ширинской степи огромное количество крупных и мелких водоёмов, используемых как для организованного, так и «дикого» отдыха. На наиболее больших из них (оз. Шира, Белё и проч.) ведутся регулярные наблюдения за компонентами окружающей среды, мелкие, к каким относится и Слабительное, – изучены слабо.

Бассейн озера находится примерно в четырех километрах на СВ от пос. Солёноозерное и около двух километров на СЗ от оз. Тус (рис. 1).



Объекты исследования, их местоположение, некоторые условия формирования и свойства, где 1 – чернозём сегрегационный (Р. 1); 2 – чернозём дисперсно-карбонатный (Р. 2); 3 – солончак типичный (Р. 3) (сост. с привлечением источников [8, 9])

Осадков на территории выпадает около 327 мм., большая часть из которых случается летом в виде ливней, являясь причиной эрозионных процессов [4]. Отмечается большое количество тепла и солнечного света, засушливость и сильные ветры, снижающие относительную влажность воздуха, иссушающие почву и вызывающие дефляцию и пыльные бури [5]. Зимы холодные, при практически отсутствующем снежном покрове в почвах могут образовываться морозобойные трещины различной глубины. Почвообразующим суб-

стратном является элюво-делювий красноцветных пород кембрия и девона, как правило засоленный и карбонатный. Этот материал характеризуется большим количеством окиси кальция (10–26%), высоким содержанием магния (до 2,83%) и преобладанием сульфатов в составе легкорастворимых солей, что во многом определяет свойства почв [6, 7]. Рельеф как правило всхолмлен, но встречаются и относительно выположенные участки. Бессточные понижения аккумулируют перемещаемые с водоразделов влагу и вещества. Тип степной растительности определяется во многом формами земной поверхности, что обуславливает ее мезофильный, ксерофильный или галофитный характер. Объектами исследования послужили автоморфные (черноземы) и гидроморфная (солончак) почвы.

Чернозем сегрегационный (Р. 1) небольшой мощности, 65 см., сформирован на вершине слабовыраженного водораздела с едва заметным уклоном в сторону озера; на красноцветных отложениях; под злаково-полынной растительностью с проективным покрытием (ПП) около 50%. На поверхности почвы зафиксированы морозобойные трещины до 20 см глубиной. Мощность А + АВк составляет 21 см. Карбонаты (рис. 1, график CaCO_3) с 8 см (мучнистые и вкрапления), с глубиной появляются скопления белоглазки (примерно с 50 см). Структура меняется по профилю от комковатой и пылеватой в гор. А, до призматически-ореховатой в средней и крупнокомковатой в нижней части. Супесчаный, содержание физической глины в дневном горизонте 18,8% (рис. 1, график физ. глина), вниз по профилю наблюдается утяжеление за счет возрастания количества мелкой пыли (от 2,0 до 11,2%) и ила (от 10,8 до 24,8%) до среднего суглинка. Количество обменных кальция и магния колеблется в пределах 28–32 мг экв/100 г почвы, преобладает кальций. Гумуса до 6,2–5,2% в горизонтах А–АВк. В нижней части профиля содержание легкорастворимых солей (сульфатного состава) значительно, и составляет 1,2%.

Чернозем дисперсно-карбонатный (Р. 2). Мощность профиля один метр. Вскрыт в средней части выположенного склона, направленного в сторону водоема; на красноцветных отложениях; под полынно-злаковой растительностью с ПП около 50%. Мощность А + АВк составляет приблизительно 30 см. Вскипает с 31 см. Соли углекислой извести в мучнистой форме и в форме вкраплений. Структура идентична почве Р. 1. Легкосуглинистый, но с глубиной растет содержание фракций ила (от 12 до 24%) и средней пыли (от 3,6 до 17,6%), что служит основанием определения состава горизонта ВСк как тяжелосуглинистого. Из обменных кальция и магния преобладает первый. Гумуса до 11,6% (гор. А, 0–6 см); его количество резко снижается почти в два раза уже на глубине 10 см (6,8%).

Солончак типичный хлоридно-сульфатный (Р. 3), мощность профиля 125 см. Расположен примерно в 200 м от береговой линии озера, на выположенной прибрежной равнине. Сформирован на красноцветных отложениях; под изреженной галофитной растительностью (солянки, кермек, ирис) с ПП около 30%. На поверхности карбонатно-солевая корка. Углекислый кальций по профилю в форме пропитки. В верхней части профиля – комковато-

пылеватый, в нижней – бесструктурный. Среднесуглинистый (фракции <0,01 мм содержится около 36,0%). Характеризуется слоистостью, перемежением слоев среднесуглинистого и легкого глинистого состава (рис., график), как правило, за счет возрастания количества тонкой фракции ила (до 42% на глубине 24–33 см). Заметная влажность в нижней части профиля. Плотность меняется в зависимости от гранулометрического состава. Содержание гумуса в поверхностном горизонте около 3% (Ак (5–15 см)), характерны колебания его количества до пиков в 11% (15–24 см) и 10% (на глубинах 46–56 см., 78–86 см и вплоть до 120–125 см). Состав солей корки: хлоридно-сульфатный, сумма солей 1,7%. В нижней части профиля преобладают сульфаты. Высокая щелочность (рН до 9 ед.) определяется наличием карбонатов и анионов CO_3^{2-} в водной вытяжке (до 0,2%, глуб. 15–24 см).

В целом, характеризуя свойства объектов можно отметить, что условия формирования и сопряжение изучаемых почв обуславливают закономерные изменения их свойств. Ксерофитный характер чернозёма сегрегационного (Р. 1), расположенного на водоразделе, определяет значительную вероятность выдувания и вымывания мелкозема, его небольшую мощность в целом и гумусового горизонта в частности. На склоне, в транзитной позиции (чернозем дисперсно-карбонатный, Р. 2), происходит уже аккумуляция вещества и влаги, накопление гумуса, выщелачивание карбонатов на некоторую глубину. Замыкает ряд солончак (Р. 3), который, будучи расположен на самом пологом участке, фиксирует динамику миграции вещества с более высоких позиций рельефа в своем составе и свойствах; вероятно в своей истории развития он связан также с циклическими колебаниями озерной акватории, на что указывает слоистый гранулометрический состав и наличие на значительной глубине органического вещества, вероятно имеющего отношение не только к почвообразованию, но и к экзогенным процессам.

Литература

1. Винокуров М.А., Горшенин К.П. Почвы и почвенные районы Сибири // Естественно-исторические условия сельскохозяйственного производства Сибири. Новосибирск: Изд-во Сиб. науч.-исслед. ин-та соц. реконструкции с.-х., 1931. Ч. 2. 190 с.
2. Градобоев Н.Д. Объяснительная записка к атласу почв Хакасской автономной области // Тр. Южно-Енисейской экспедиции. М.: Изд-во АН СССР, 1950. Вып. 1. 61 с.
3. Танзыбаев М.Г. Почвы Хакасии. Новосибирск: Наука, 1993. 256 с.
4. Бахтин Н.П., Орловский Н.В. Климат / Агрохимическая характеристика почв СССР (Средняя Сибирь). Т. 11: Природно-хозяйственные условия южной земледельческой части Красноярского края. М.: Наука, 1971. С. 7–14.
5. Гавлина Г.Б. Климат Минусинской впадины // Труды Южно-Енисейской комплексной экспедиции. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Вып. 3. С. 5–70.
6. Градобоев Н.Д. Почвы Минусинской впадины // Труды Южно-Енисейской комплексной экспедиции. М.: АН СССР, 1954. Вып. 3. С. 3–138.
7. Орловский Н.В. Рельеф и почвообразующие породы // Агрохимическая характеристика почв СССР (Средняя Сибирь). Т. 11: Природно-хозяйственные условия южной земледельческой части Красноярского края. М.: Наука, 1971. С. 5–7.

8. Google Earth Pro: ресурс свободного доступа компании Google
9. Топографическая карта Солёноозерное (онлайн сервис). URL:
<https://clck.ru/3Mv2pJ>

УДК 631.41

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-11

Насыщенные углеводороды в многолетнемерзлых торфяниках

**А.В. Пастухов^{1,2*}, Д.А. Каверин¹, С.В. Лойко², И.В. Крицков²,
А.Г. Лим², С.П. Кулижский²**

¹ *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия*

² *Томский государственный университет, Томск, Россия*

**alpast@mail.ru*

Аннотация. Общее содержание н-алканов в торфяниках, расположенных в криолитозоне европейской территории России (ЕТР), по сравнению с болотами Западной Сибири (ЗС) (38 ± 12 (10–66) мкг/кг), в 7,4 раза выше и составляет 282 ± 145 (74–709). Состав н-алканов в мерзлотных торфяниках определяется не только различным ботаническим составом торфяных залежей, но и следствием более низких среднегодовых температур в ЗС в сравнении с ЕТР, причем такое климатическое различие сохранялось на протяжении всего голоцена.

Ключевые слова: алканы, бугристые, полигональные болота, деградация, потепление, биомаркеры, органический углерод

Saturated hydrocarbons in permafrost peatlands

**A.V. Pastukhov^{1,2*}, D.A. Kaverin¹, S.V. Loiko², I.V. Kritskov²,
A.G. Lim², S.P. Kulizhskiy²**

¹ *Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation*

² *Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

**alpast@mail.ru*

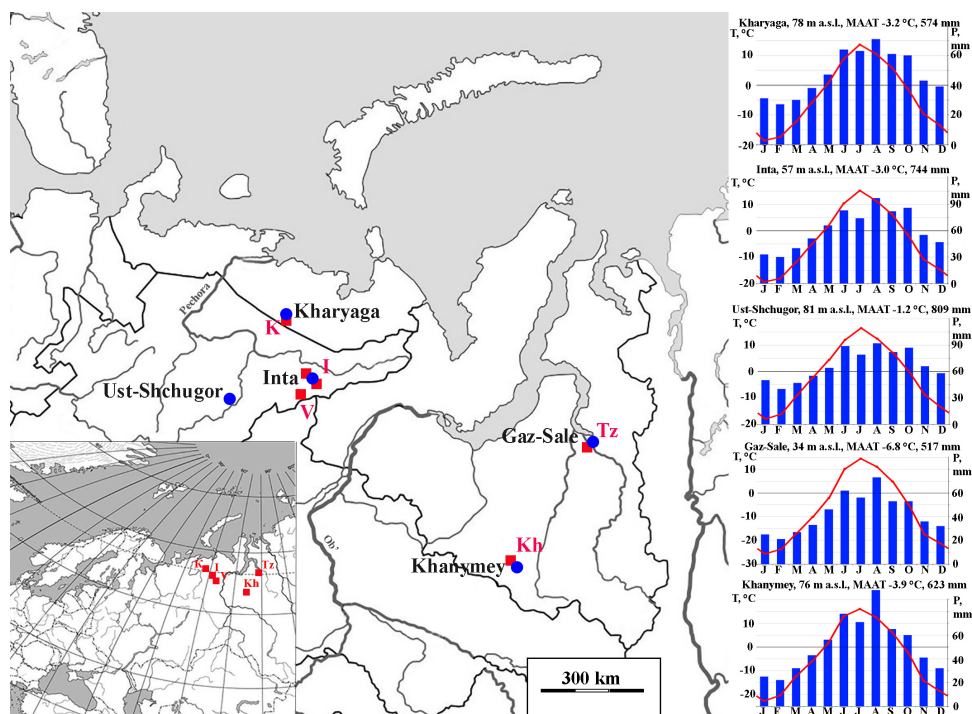
Summary. The total content of n-alkanes in peatlands located in the cryolithozone of the European Territory of Russia (ETR) is 7.4 times higher and amounts to 282 ± 145 (74–709) compared to 38 ± 12 (10–66) $\mu\text{g/kg}$ in peatlands of Western Siberia (WS). The composition of saturated hydrocarbons in permafrost peatlands is determined not only by the different macrofossil remnants of the peat strata, but also by the consequence of lower mean annual air temperatures in the WS compared to the ETR, and such a climatic difference was maintained throughout the Holocene.

Keywords: alkanes, hummocky and polygonal peatlands, degradation, warming, biomarkers, organic carbon

Торфяники играют важную роль в круговороте углерода и азота [1]. Только северные торфяники, занимающие площадь $(3,7 \pm 0,5)$ млн км², хранят в себе $(415 \pm 150) \cdot 10^{15}$ г углерода и $(10 \pm 7) \cdot 10^{15}$ г азота [2], при этом около 50% площади всех торфяников находится в вечной мерзлоте. Сохранение торфяников в качестве поглотителя и накопителя углерода имеет решающее значение для достижения нулевого уровня глобальных выбросов CO₂ и смягчения последствий потепления климата к 2050 г. [3].

Геохимический анализ состава торфа показал, что липидные фракции растений содержат биомаркеры, т.е. специфические химические соединения, идентифицирующие как отдельные растения, так и группы растений, входящих в состав торфяной залежи [4]. Одним из таких биомаркеров является соотношение н-алканов (насыщенных углеводородов), которые сами по себе устойчивы к разложению и достаточно надежно указывают на степень разложения органического углерода и видовой состав растительных сообществ торфяной залежи [5].

В данном исследовании проведена оценка качественного и количественного состава н-алканов в связи с морфологическими и физико-химическими характеристиками многолетнемерзлых торфяников Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин (рис. 1).



Картограмма расположения ближайших климатических станций, обозначенных синими кружками, и ключевых участков исследования, обозначенных красными квадратами. На диаграммах показаны среднемесячные значения осадков и температуры воздуха на основе климатической базы данных (<https://ru.climate-data.org/> (дата обращения 18.03.25))

Многолетнемерзлые торфяники представляют собой чередование мерзлых торфяных бугров/полигонов) различной высоты и формы с обводненными понижениями (топями и мочажинами) и термокарстовыми озерами. Между количеством и качеством воды в буграх и топях существует значительное различие.

Топпы, мочажины и межполигональные трещины являются минеротрофными, т.е. получают не только атмосферное, но и грунтовое питание из подстилающих минеральных отложений. Как правило, в обводненных понижениях доминируют кустарничково-пушицево-сфагновые фитоценозы, включающие такие виды, как *Salix* spp., *Eriophorum* × *medium* Andersson и *Rubus chamaemorus* L., а также *Vaccinium microcarpum* (Turcz. ex Rupr.) Schmalh. Напочвенный покров характеризуется присутствием *Sphagnum subsecundum* Nees, *S. riparium* Angstr., *S. compactum* Lam. и DC., а также бурых мхов (*Warnstorfia* spp.). Несмотря на относительно мощную торфяную залежь бугров/полигонов, они бедны минеральным питанием, что связано с их расположением над поверхностью болотного массива, в результате чего они получают только омбротрофное (атмосферное) питание. Растительность бугров и полигонов может различаться, но чаще всего встречаются полидоминантные кустарничково-лишайниковые сообщества (*Betula nana* L., *Ledum palustre* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *V. uliginosum* L., *Empetrum hermaphroditum* L., *Rubus schamaemorus* L.), мхи семейства Bryidae (*Dicranum* spp., *Polytricum* spp., *Pleurozium schreberi* Mitt) и лишайники (*Cladonia* spp.).

Образцы торфа анализировали в ЦКП «Хроматография» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Для извлечения н-алканов из образцов торфа применяли систему ускоренной экстракции растворителем ASE-350 (Dionex Corporation, Саннивейл, Калифорния, США).

Выявлены существенные различия физико-химических свойств торфяных залежей болот европейской территории России и Западной Сибири. Значения гигроскопической влажности варьировали от 1,7 до 11,8%, составляя в среднем $(9,6 \pm 0,8) \%$ в ЕТР, и заметно в более узком диапазоне, от 4,2 до 10,7% при среднем значении $(7,7 \pm 1,1) \%$ в ЗС. Потери при прокаливании составляли $(94,4 \pm 2,2) \%$ и $(95,2 \pm 1,2) \%$ в ЕТР и ЗС соответственно. Несмотря на более низкие значения $\text{pH H}_2\text{O} - 4,5 \pm 0,5$ и $\text{pH KCl} - 3,6 \pm 0,5$ в ЕТР в сравнении с $4,8 \pm 0,5$ и $3,8 \pm 0,4$ в ЗС, во всех разрезах наблюдалось увеличение pH вниз по профилю. Содержание органического углерода в почве достигало значений – $47,8 \pm 1,7$ (40,5–51,5) % в ЕТР и $49,1 \pm 2,0$ (32,1–53,1) % в ЗС. Наличие слаборазложившихся древесных остатков в торфяных залежах было определено как основной фактор, способствующий минимальным наблюдаемым значениям углерода.

Накопление и распределение н-алканов в торфяной залежи используются для палеорекострукции условий функционирования болот. Индекс средней длины углеродной цепи (ACL) значительно выше в ЕТР в сравнении с ЗС и составляет $26,8 \pm 0,6$ (25,7–29,6) и $24,5 \pm 0,5$ (23,3–25,8), соответственно. Индекс преобладающего углерода CPI_{alkane} (т.е. отношение нечетных алканов к четным) также демонстрирует значительные различия между многолетнемерзлыми торфяниками ЕТР и ЗС, составляя в среднем $9,5 \pm 2,4$ (3,7–18,6) и $6,9 \pm 2,1$ (3,1–12,9) соответственно. Значения $CPI_{alkanol}$ составляют $0,10 \pm 0,03$ (0,04–0,26) в ЕТР и $0,15 \pm 0,04$ (0,07–0,26) в ЗС. При этом наибольшие значения наблюдаются преимущественно в самой нижней части торфяных толщ, что свидетельствует о длительном преобладании восстановительных условий. Более высокие значения CPI также указывают на большое количество хорошо сохранившегося (слабо разложившегося) органического материала.

Очевидно, что многолетнемерзлые торфяники ЗС формировались в условиях постоянного избытка влаги, в отличие от болот ЕТР, где условия увлажнения постоянно менялись. Об этом свидетельствуют значения Paq , $C23/C29$ и $C23(C27 + C31)$, которые составляют $0,90 \pm 0,05$ (0,69–0,99), $11,1 \pm 8,9$ (0,84–61,6), $1,53 \pm 0,80$ (0,21–4,72) и $0,47 \pm 0,12$ (0,08–0,71), $0,64 \pm 0,32$ (0,08–1,48), $0,43 \pm 0,21$ (0,04–1,26) соответственно.

В торфяниках ЕТР максимальную долю в общем количестве н-алканов составляют $C27$, $C29$ и, в некоторых случаях, $C31$, что отражает вклад кустарниковой растительности в торфяных залежах бугров и кустарничково-осоковой растительности в торфе мочажин и топей. Напротив, в Западной Сибири значительную долю составляют только алканы $C27$. Присутствие ограниченного числа короткоцепочечных н-алканов $C20$ указывает на преобладание бактерий и водорослей. Значительная доля алканов $C23$ и $C25$ свидетельствует о доминировании гигрофильной растительности. В торфяниках ЕТР прослеживается четкий тренд: уменьшение содержания н-алканов происходит одновременно с увеличением степени разложения торфа, причем это наблюдается для одних и тех же видов растений. Это явление можно объяснить деградацией н-алканов почвенной микробиотой. И наоборот, в Западной Сибири наблюдается увеличение содержания н-алканов, что объясняется сохранением анаэробных условий. Примечательно, что даже минимальное общее содержание н-алканов в торфяных плато Восточной Европы превышает максимальную сумму н-алканов, зафиксированную в Западной Сибири (74 и 66 мкг/кг соответственно).

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 24-27-00056 «Уязвимость многолетнемерзлых торфяников в результате строительства линейных объектов в условиях современного климатического потепления в Арктике: оценка экономических и необратимых природных рисков».

Литература

1. Zhao B., Zhuang Q. Nitrogen cycling feedback on carbon dynamics leads to greater CH₄ emissions and weaker cooling effect of northern peatlands // *Glob. Biogeochem. Cycles*. 2024. Vol. 38, № 4. Art. num. e2023GB007978. doi: <https://doi.org/10.1029/2023GB007978>
2. Hugelius G. [et al.] Large stocks of peatland carbon and nitrogen are vulnerable to permafrost thaw // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2020. Vol. 117, № 34. P. 20438–20446. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1916387117>
3. Harris L.I. [et al.] The essential carbon service provided by northern peatlands // *Front. Ecol. Environ.* 2021. Vol. 20. P. 222–230. doi: <https://doi.org/10.1002/fee.2437>
4. Ronkainen T. [et al.] Plant macrofossil and biomarker evidence of fen-bog transition and associated changes in vegetation in two Finnish peatlands // *Holocene*. 2014. Vol. 24. P. 828–841. doi: <https://doi.org/10.1177/0959683614530442>
5. Pastukhov A.V. [et al.] Markers of soil organic matter transformation in permafrost peat mounds of northeastern Europe // *Eurasian Soil Sci.* 2018. Vol. 51. P. 42–53. doi: <https://doi.org/10.1134/S1064229318010131>

УДК 58.051 57.042

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-12

Макроэлементы корнеобитаемого слоя почв Кедровского угольного разреза

Т.И. Сиромля^{1*}, Ю.В. Загурская^{2**}

¹ *Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
Новосибирск, Россия*

² *Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения РАН (Институт экологии человека),
Кемерово, Россия*

¹ **tgulkina@yandex.ru*

² ***syjil@mail.ru*

Аннотация. Исследовано содержание макроэлементов в корнеобитаемом слое почв техногенно нарушенных экотопов угледобывающего разреза. Установлено, что для эмбриоземов отвалов характерна более высокая вариабельность как валового содержания, так и подвижных форм соединений всех исследованных элементов. Для Са это связано с присутствием карбонатных пород в образующемся субстрате. Статистически значимая разница между различными территориями отмечена только для подвижных форм соединений Fe.

Ключевые слова: элементный химический состав почв, макроэлементы, подвижность, эмбриоземы, отвалы угольных карьеров

Macroelements of the root-inhabited soil layer of the Kedrovsky coal mine

T.I. Siromlya^{1*}, Y.V. Zagurskaya^{2**}

¹ *Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch*

of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

² *Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences (Institute of Human Ecology),
Kemerovo, Russian Federation*

¹ *tgulkina@yandex.ru

² **syjil@mail.ru

Summary. The content of macroelements in the root-inhabited soil layer of the technologically disturbed ecotypes of the coal-mining section was investigated. It has been established that the embryozems of dumps are characterized by a higher variability in both the gross content and the mobile forms of compounds of all the studied elements. For Ca, this is due to the presence of carbonate rocks in the resulting substrate. A statistically significant difference between different territories was noted only for mobile forms of Fe compounds.

Keywords: elemental chemical composition of soils, macroelements, mobility, embryozems, coal quarry dumps.

В последнее время в Кузбассе все более широкую распространенность приобретает открытый способ добычи угля – карьерная разработка месторождений составляет более 70% объема угледобычи [1, 2]. Одно из наиболее значимых последствий этого способа – полное разрушение почвенных горизонтов, перемешивание слоев между собой и с материнскими породами, нарушение гидрологического режима и аэрации почв [3]. Эти процессы резко изменяют физические характеристики итогового субстрата (техноземы и эмбриоземы) [4], поэтому вопросы формирования и эволюции почв на отвалах горнодобывающих предприятий приобретают серьезную значимость [5]. Формирующиеся почвы, относящиеся к отделу слаборазвитых, В.А. Андроханов и др. [4] называют эмбриоземами и разделяют по характеру верхнего горизонта, что в целом согласуется с критериями классификации почв России [5].

Восстановление плодородного слоя почв – длительный процесс, зависящий от множества факторов. Одним из показателей восстановления плодородия почв является содержание необходимых для живых организмов химических элементов. Почвы в основном состоят из О и Si, далее в убывающем порядке идут Al, Fe, Ca, K, Na и Mg; в сумме они составляют около 99% минеральной части почв и почвообразующих пород [6]. Таким образом, актуальным является изучение макроэлементного состава техногенно нарушенных почвенных субстратов.

Целью данной работы стало определение содержания макроэлементов (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na) в корнеобитаемом слое почв на территории угледобывающего разреза Кедровский.

В качестве объектов исследования были выбраны 3 техногенно преобразованных участка (два отвала возрастом более 30 лет – спланированный самозарастающий и рекультивированный сосной, дорога – обочина технологической дороги на территории разреза с регулярным движением горнодобывающей техники и дизельного крупногабаритного транспорта) и фоновый участок (территория с ненарушенным почвенным слоем без интенсивной транспортной нагрузки). В каждом экотопе в начале августа 2015 г. было заложено по 3 площадки мониторинга, на которых из верхнего корнеобитаемого слоя почвы (0–20 см) методом конверта отбирали 5 точечных образцов, составляли объединенную пробу и выделяли из нее среднюю пробу в соответствии с ГОСТ Р 58595–2019.

Пробоподготовка образцов для анализа, а также выполнение исследований проводились в соответствии с общепринятыми, стандартными и/или гос-тированными аттестованными методиками. Щебнистость почв оценивали весовым методом, содержание физической глины – пипеточным методом, pH солевой – потенциометрическим методом. Валовое содержание химических элементов определяли атомно-эмиссионным методом, подвижные формы Ca, Fe, K, Mg, Na (экстрагент – ацетатно-аммонийный буферный раствор pH 4,8) – атомно-абсорбционным методом, подвижный (обменный) Al (экстрагент – 1 М KCl) – фотоколориметрическим методом. Данные приведены в пересчете на воздушно-сухое вещество. Для контроля точности измерений использовались стандартные образцы почв, относительная погрешность не превышала 10%. Для определения доступности элементов растениям оценивалась их подвижность в почве – как отношение концентрации подвижных форм к валовому содержанию. Статистическая обработка была выполнена с помощью пакета программ Statistica 10.

По значениям pH и зольности изученные образцы различались не очень значительно: 6,8–7,2 и 81–94% у техногенно преобразованных почв и 5,8–6,1 и 90–93% на фоновом участке соответственно. Однако все изученные образцы техноземов характеризовались высокими показателями щебнистости – до 40% на отвалах и до 60% у дороги, в то время как в фоновых почвах на долю скелетной части почвы приходилось около 10–14%. Кроме того, почвы на контрольном участке относились к тяжелосуглинистым (до 47% фракции физической глины), а на остальных участках содержание глинистых частиц начиналось от 3%, постепенно увеличиваясь до 25–37% с глубиной.

Общее содержание макроэлементов в исследуемых почвах представлено на рис. 1 – их содержание увеличивается от Mg к Al. Более высокая вариабельность концентраций элементов характерна для почв, отобранных на отвалах, а максимальная среди всех – для Ca. Вероятно, это напрямую связано с присутствием карбонатных пород в исходных субстратах, образующих отвалы, что приводит к активному развитию процессов карбонатизации (новооб-

разование и осаждение педогенных карбонатов) и окарбоначивания (миграция растворов бикарбонатов кальция и магния с последующей аккумуляцией в различных морфологических формах) [5].

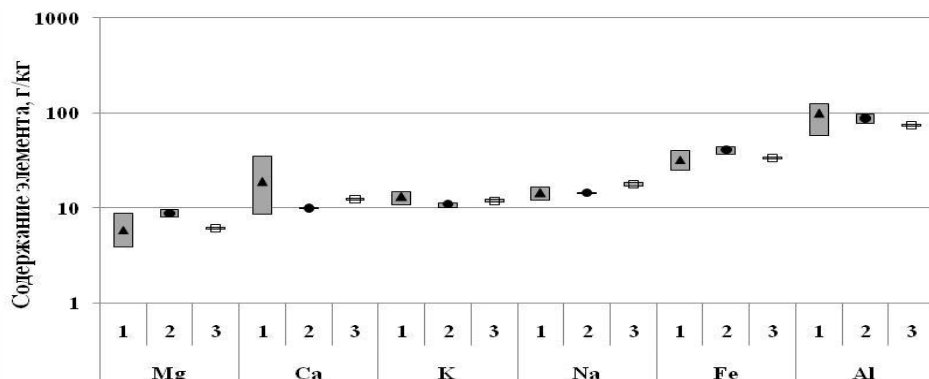


Рис. 1. Диапазон валовых концентраций элементов в почвах на территории угледобывающего разреза Кедровский Здесь и далее: 1 – отвалы, 2 – дорога, 3 – фон; Med (min-max)

Концентрация подвижных форм соединений макроэлементов увеличивается от Na к Ca (у Al – ниже предела обнаружения), но также весьма значительно варьирует в почвах отвалов (рис. 2).

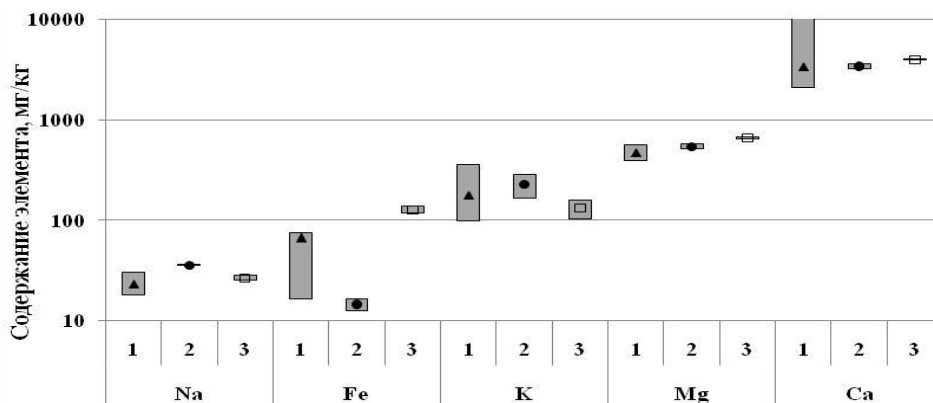


Рис. 2. Диапазон концентраций подвижных форм соединений элементов в почвах на территории угледобывающего разреза Кедровский

Высокая вариабельность затрудняет сравнение содержания элементов в пробах из различных экотопов, поэтому статистически значимая разница выявлена лишь для железа – его подвижные формы в большем количестве содержатся в почвах фоновой территории, а в минимальном – возле дороги. Подвижность железа также выше в фоновых почвах – около 0,4%, на порядок ниже возле дороги – 0,03–0,04% и составляет около 0,1–0,2% на отвалах. Интересно отметить, что подвижность Na – также крайне низкая – примерно

одинакова во всех точках (0,1–0,2%). Подвижность остальных исследованных элементов увеличивается в ряду $K (0,7–2,6\%) < Mg (5,2–12,1\%) < Ca (19–34\%)$, однако также не дает возможности достоверно выявить влияние техногенного воздействия.

Таким образом, в почвах из всех исследованных экотопов валовое содержание макроэлементов увеличивается в ряду $Mg < Ca < K < Na < Fe < Al$, при этом большая вариабельность элементного химического состава характерна для проб, отобранных на отвалах. Содержание подвижных форм соединений макроэлементов и их подвижность увеличиваются в ряду $Na < Fe < K < Mg < Ca$ с аналогичными изменениями в вариабельности.

Литература

1. Копытов А.И., Шаклеин С.В. Направление совершенствования стратегии развития Угольной отрасли Кузбасса // Уголь. 2018. № 5. С. 80–86.
2. Уразбаев Х.К. Открытый способ добычи угля // Актуальные проблемы современности. 2021. № 1 (31). С. 182–186.
3. Каракульева А.А., Кондратьева М.А. Свойства эмбриоземов угольных отвалов Кизеловского бассейна // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 156–159.
4. Андроханов В.А., Куляпина В.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
5. Брагина П.С., Герасимова М.И. Почвообразовательные процессы на отвалах горнодобывающих предприятий (на примере юга Кемеровской области) // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 45–51.
6. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.

УДК 631.48

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-13

Особенности почвенного покрова гумидных высокогорий Кузнецкого Алатау

Б.А. Смоленцев*, Е.Н. Смоленцева

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

**smolentsev.b@yandex.ru*

Аннотация. Почвенный покров гумидных высокогорий Кузнецкого Алатау характеризуется значительным разнообразием. В его составе представлены 4 ствола почвообразования. Преобладающие постлитогенные почвы высокогорий – это бурозёмы, бурозёмы грубогумусовые, литозёмы, глеевые. Органогенные почвы представлены торфяными эутрофными, синлитогенные – аллювиальными почвами, отдел первичного почвообразования – петрозёмами. Дана краткая характеристика гран. состава и свойств основных типов почв, указаны преобладающие почвенные комбинации.

Ключевые слова: бурозём, литозём, глеевые почвы, петрозём, горные почвы, органогенные почвы

Features of the soil cover in the humid highlands of the Kuznetsky Alatau

B.A. Smolentsev*, E.N. Smolentseva

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

**smolentsev.b@yandex.ru*

Summary. The soil cover of the humid highlands in the Kuznetsky Alatau has a diverse component composition. There are 4 orders of soil formation, which are distinguished in the Russian soil classification: postlithogenic, synlithogenic, primary and organogenic. The predominant postlithogenic soils of the highlands are burozems (Haplic Cambisols), coarse humus burozems (Folic Cambisols), lithozems (Leptosols), and gley soils (Gleysoils). Organogenic soils are represented by peat eutrophic (Histosols), synlithogenic – alluvial soils (Fluvisols), the order of primary soil formation – petrozems (Lithic Leptosols). A brief description of the granulometric composition and properties of the main types of soils is given, and the prevailing soil combinations are indicated.

Keywords: burozem, lithozem, gley soils, petrozem, mountain soils, organogenic soils

Горный массив Кузнецкий Алатау (КА) – это субмеридионально ориентированный северный отрог Алтае-Саянской горной области. Особенности географического положения и геоморфологии обусловили асимметрию его климата и ландшафтов. Западный макросклон КА характеризуется гумидными условиями, восточный – более аридным климатом. На западном макросклоне КА выделяют горно-таёжный, субальпийский и горно-тундровый растительные пояса, из которых два последние относятся к высокогорной области [1]. Преобладающие почвообразующие породы – четвертичные бурые делювиальные бескарбонатные глины и суглинки, в высокогорной области литогенной основой почв является также щебнистый элюво-делювий коренных пород (сланцев, известняков, песчаников). Почвенный покров этой территории изучен слабо в связи с её труднодоступностью. В результате проведённых исследований установлено, что почвенный покров гумидных высокогорий КА характеризуется значительным разнообразием. В его составе представлены 4 ствола почвообразования: постлитогенный, синлитогенный, первичный и органогенный. Постлитогенные почвы высокогорий – это бурозёмы, бурозёмы грубогумусовые, литозёмы, глеезёмы. Буроземы и буроземы грубогумусовые встречаются в субальпийском поясе под луговой растительностью и под хвойным редколесьем [2, 3]. Бурозёмы и бурозёмы грубогумусовые в высокогорьях чаще всего имеют слабо развитый профиль (40–50 см), который снизу ограничен твердой подстилающей породой, и среднемощный серогумусовый горизонт (10–20 см) (рис. 1). Средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом характеризуются почвы, формирующиеся на вы-

ровненных участках или на склонах небольшой крутизны. Это бурозёмы и литозёмы серогумусовые пологих склонов. Почвы, формирующиеся на крутых склонах или в узких седловинах, имеют легкосуглинистый и супесчаный гранулометрический состав. Это бурозёмы грубогумусовые и литозёмы грубогумусовые, перегнойно-глеевые и глеезёмы седловин. Почвы, формирующиеся на делювии известняков, имеют слабокислую и нейтральную реакцию среды и их профили имеют среднюю и повышенную степень насыщенности основаниями. Это бурозёмы типичные тёмнопрофильные, петрозёмы и некоторые аллювиальные почвы. Большинство почв характеризуются сильнокислой и очень сильнокислой реакцией среды за счет высокой обменной и гидrolитической кислотности и низкой и очень низкой суммы поглощенных оснований. По содержанию гумуса они относятся к сильно гумусированным и тучным: содержание органического углерода (Сорг) в серогумусовом горизонте варьируется от 4,4 до 9,8%, в грубогумусовом – от 9,7 до 17,7%.

Преобладающими почвами горно-тундрового и субальпийского поясов являются литозёмы, которые встречаются также и в горно-таёжном поясе. Однако в каждом из поясов имеются наиболее характерные почвенные разновидности. Так, в горно-тундровом поясе в более холодных и влажных условиях под кустанничковой и мохово-лишайниковой тундрами формируются преимущественно литозёмы с торфяным или грубогумусовым горизонтами, реже бурозёмы грубогумусовые маломощные, под травянистыми сообществами – литозёмы серогумусовые метаморфизованные. В субальпийском поясе под высококотравными субальпийскими лугами преобладают литозёмы серогумусовые. Здесь они часто образуют почвенные комбинации (ПК) с бурозёмами.

В составе почвенного покрова всех природных поясов КА постоянными компонентами являются постлитогенные почвы отдела глеевые и органо-генные почвы. Они приурочены к местам с высоким поверхностным и грунто-вым увлажнением, в результате чего в этих почвах происходит редукционный гидроморфизм в минеральных почвенных горизонтах, а также аккумуляция различных видов торфа. Глеевые почвы занимают плоские заболоченные седловины, ложбины стока или долины мелких рек и ручьев. Были выявлены три типа почв, относящихся к отделу глеевых: глеезёмы, торфяно-глеезёмы и перегнойно-глеевые почвы. Развиваются они в условиях длительного застойного увлажнения под сырыми или заболоченными лугами, а также под заболоченными тундровыми сообществами. Глеезёмы не образуют крупных ареалов, а входят в состав ПК с другими переувлажненными почвами. Торфяно-глеезёмы распространены в долинах рек и ручьев, в заболоченных межгорных седловинах по окраинам болотных массивов. Перегнойно-глеевые – наиболее часто встречающийся на территории высокогорий тип почв из отдела глеевых (рис. 1). Развиваются эти почвы под заболоченными и гигрофильными лугами в ложбинах стока на склонах хребтов, а также в долинах рек.

Синлитогенные почвы в высокогорьях КА представлены отделом аллю-виальных почв, которые выделяются по характеру гумусового или органо-

генного горизонтов и по их сочетанию с глеевым горизонтом. Преобладают аллювиальные гумусовые, встречаются также аллювиальные гумусовые и аллювиальные перегнойно-глеевые.

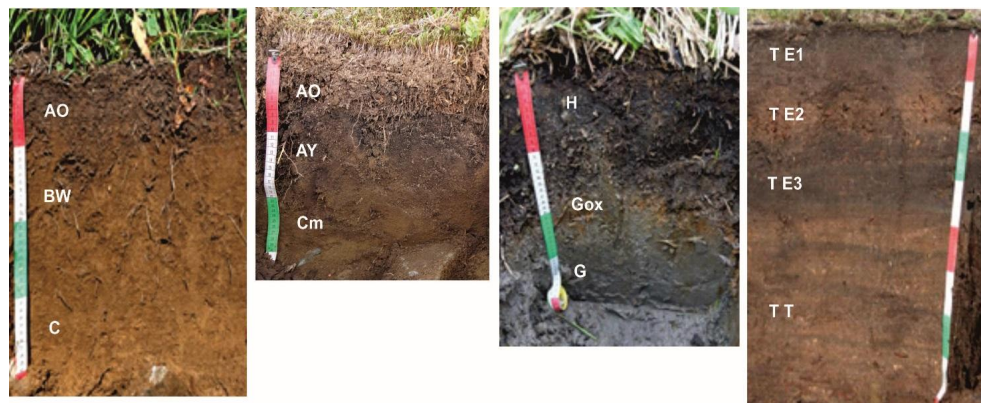


Рис. 1. Почвы высокогорий Кузнецкого Алатау. Слева направо: Бурозём грубогумусовый типичный, литозём грубогумусовый метаморфизованный, перегнойная окисленно-глеевая, торфяная эутрофная

В высокогорной области повсеместно встречаются петрозёмы и петрозёмы гумусовые, которые относятся к стволу первичного почвообразования. Генезис этих почв ограничен плотной породой. Они представляют собой маломощные горизонты О или W, залегающие на крупнообломочной коре выветривания. Петрозёмы не имеют крупных ареалов, а образуют почвенные комбинации с литозёмами. Мощность гумусово-слаборазвитого горизонта у петрозёмов составляет 5 см. Гранулометрический состав их легкосуглинистый или супесчаный с преобладанием фракций крупной пыли и песка. Химические свойства петрозёмов сильно зависят от почвообразующих и подстилающих пород. Так, на углеродистых известняках развиваются петрозёмы с высокой степенью насыщенности основаниями, более 90%. Они имеют слабощелочную реакцию среды и очень высокую сумму Ca^{2+} и Mg^{2+} в поглощающем комплексе.

Петрозёмы, формирующиеся на алевритовых сланцах и песчаниках, имеют сильноокислую реакцию среды, высокую гидролитическую кислотность и низкую степень насыщенности основаниями. Во всех проанализированных гумусово-слаборазвитых горизонтах петрозёмов наблюдается высокое содержание Сорг (5,8–13,9%).

Ствол органогенного почвообразования в высокогорьях КА представлен двумя типами почв: торфяные эутрофные и торфяные эутрофные глеевые (рис.). Торфяные эутрофные почвы встречаются повсеместно на территории КА как в горно-таёжном, так и в гольцовом и подгольцовом поясах под осоковыми и лесными болотами. В гольцовом и подгольцовом поясах они обнаружены в долинах мелких рек и ручьёв. Эти почвы не образуют крупных аре-

алов, поэтому не встречаются в составе ПК с торфяно-глеезёмами и торфяно-литозёмами.

В высокогорной области КА особенности поверхностных гумусовых горизонтов почв зависят от высоты местности, особенностей фитоценоза (серогумусовый и грубогумусовый) и от условий увлажнения (перегнойный, оторфованный или торфяной). Почвенный покров высокогорий отличается от горно-лесного пояса своей прерывистостью. Повсеместно на поверхность выходят плотные магматические и метаморфические породы геологического фундамента КА. Обломочная кора выветривания плотных пород образует на склонах курумы, которые не являются почвенными образованиями. Соответственно, почвенный покров здесь не образует континуума. Распределение почв зависит в первую очередь от мощности мелкозёмистой толщи, а также от растительности, под которой они формируются.

Работа выполнена по Государственному заданию ИПА СО РАН.

Литература

1. Седельников В.П. Флора и растительность высокогорий Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Наука, 1979. 168 с.
2. Смоленцев Б.А. Почвенный покров Государственного природного заповедника «Кузнецкий Алатау» // Труды Тигирекского заповедника. 2015. № 7. С. 162–166.
3. Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. Буроземы Кузнецкого Алатау, их свойства и разнообразие // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 50. С. 6–27.

УДК 631.417.1

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-14

Групповой состав гумуса почв в разных высотных условиях

А.Г. Фомина*, И.А. Самофалова

*Пермский аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия
annafoмина1578@yandex.ru

Аннотация. Изучены показатели группового состава гумуса, которые позволили определить особенности формирования гумусового профиля в горных почвах хребта Басеги с учетом высотных условий. Исследованы типы распределения гумусовых веществ и оптической плотности по профилю типов почв в различных высотных условиях.

Ключевые слова: гумус, горные почвы, хребет, высотная поясность, оптическая плотность

Group composition of soil humus in different altitude conditions

A.G. Fomina*, I.A. Samofalova

*Perm State Agro-Technological University
named after Academician D.N. Prianishnikov,
Perm, Russian Federation*

**annafofina1578@yandex.ru*

Summary. The indicators of the group composition of humus were studied, which made it possible to determine the features of the formation of the humus profile in the mountain soils of the Basega range, taking into account the altitude conditions. The types of distribution of humic substances and optical density according to the profile of soil types in various altitude conditions are studied.

Keywords: humus, mountain soils, ridge, altitude zone, optical density

Горные почвы отличаются по составу гумусовых веществ в зависимости от климата, растительности, геологии и стадии развития почвенного профиля. Органическое вещество почв играет важную роль, регулируя биогеоэцотические функции, устойчивость к внешним воздействиям, минерализацию, нейтрализацию токсинов, структуру и биоразнообразие микробов [1–5]. Гумус – ключевой элемент глобального углеродного цикла и аккумулятор солнечной энергии [2].

Цель исследования – выявить особенности формирования гумусового профиля почв в пространстве с учетом высотных условий хребта Басеги. Объектом исследования являются почвы западного склона г. Северный Басег. Изучены профили почв, формирующиеся в горно-тундровом, подгольцовом и горно-лесном поясах. Диагностику почв и определение классификационного положения проводили по [6]. В горной тундре под мохово-лишайниковой растительностью изучали дерново-подбур (р. 18, высота 930 н.у.м.). В подгольцовом поясе под луговым разнотравьем изучен профиль литозема серогумусового (р. 54, высота 755 н.у.м.) и серогумусовая иллювирующая (р. 63, высота 635 н.у.м.). В горно-лесном поясе под мохово-травянистой растительностью исследовали профиль бурозема грубогумусированного ожелезненного (р. 37, высота 353 н.у.м.). В почвенных образцах определяли: состав гумуса пирофосфатным экспресс-методом по М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой, гумус (Собщ) по методу Тюрина в модификации Антоновой и др.; оптическую плотность с помощью цифрового спектрофотометра PD-303 при следующих длинах волн: 440, 465, 495, 533, 574, 590, 620, 665, 725, 750 нм.

Содержание общего углерода в почвах варьирует от 0,7 до 10,7% (рис. 1). Максимальное содержание общего углерода накапливается в верхних 0–15 см почв с последующим снижением вниз по профилю.

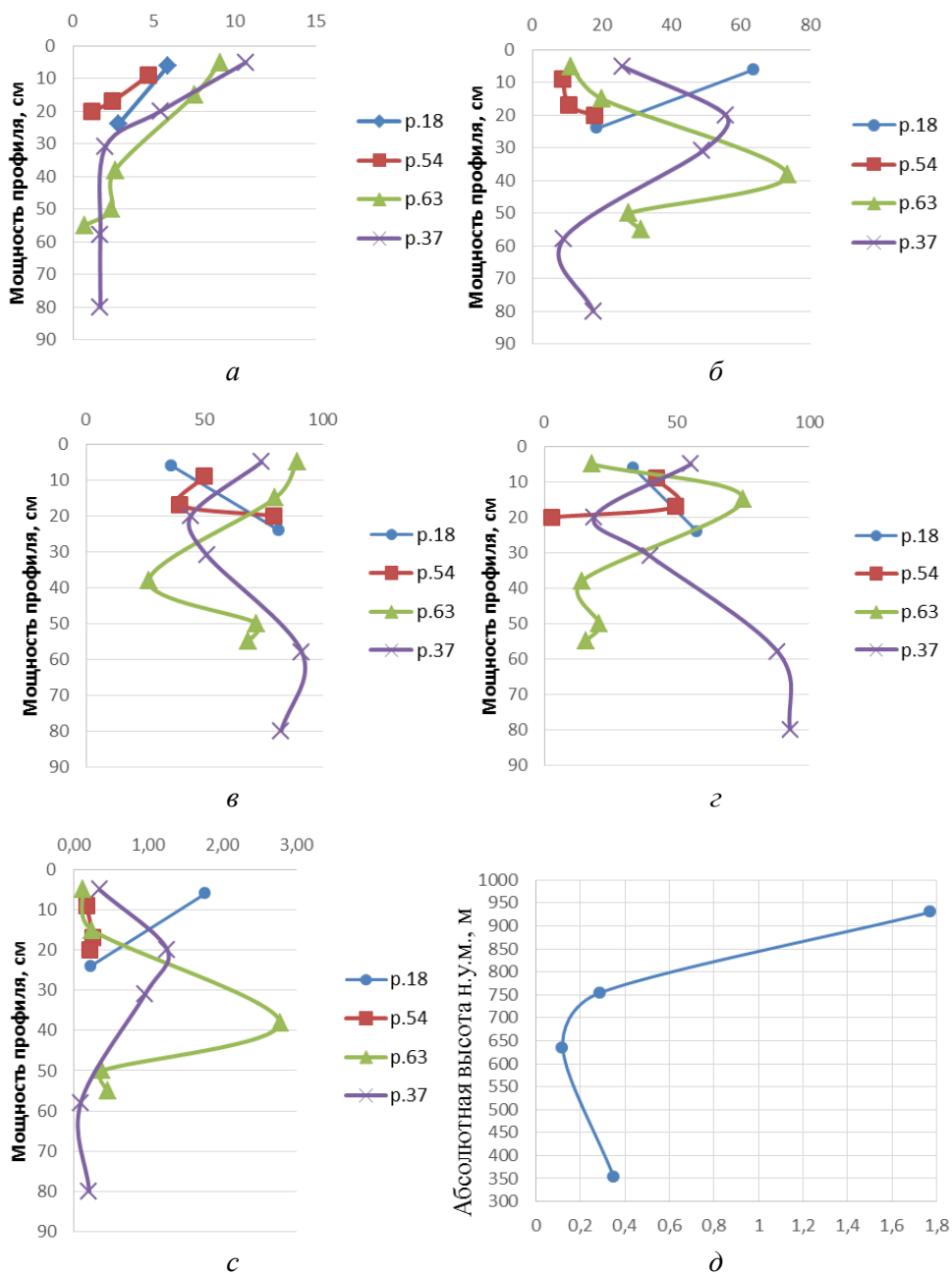


Рис. 1. Профильное распределение показателей группового состава гумуса почв: а – Собщ, %; б – Сгк, %; в – Сфк, %; г – Сно, %; е – Сгк : Сфк; д – Сгк : Сфк

В горно-тундровой зоне в дерново-подбуре *Сгк* резко снижается по профилю, что говорит о регрессивно-аккумулятивном типе распределения.

В подгольцовом поясе в литоземе содержание $C_{гк}$ увеличивается с глубиной к породе и накапливается на границе раздела рыхлого почво-элювия и гумусового горизонта. В подгольцовом поясе ниже 700 м (серогумусовая) и в горно-лесном (бурозем) поясах наблюдается аккумулятивно-элювиально-иллювиальный тип распределения. Содержание фульвокислот ($C_{фк}$) практически во всех изучаемых типах почв повышается в нижней части профиля, что доказывает высокую подвижность гумусовых веществ и их свободное перемещение с нисходящим внутрипочвенным током влаги (рис. 1, в). Содержание негидролизуемого остатка оценивается в основном как высокое и распределен по профилю почв дифференцированно. В почвах тундрового и подгольцового поясов $C_{но}$ максимально накапливается на глубине 15–25 см, а в буроземе горной тайги – на глубине 60 см (рис. 1, г). Тип гумуса в профилях почв изменяется от фульватного до гуматного, что указывает на дифференцированное распределение гумусовых веществ в профиле (рис. 1, с). Тип гумуса изменяется в почвах с высотой местности. Так, на высоте более 850 м н.у.м. тип гумуса гуматный в дерново-подбуре, а в почвах ниже 800 м – фульватный (рис. 1, д).

Спектральная отражательная способность $C_{гк}$ определена для типов почв: дерново-подбур (р. 18), серогумусовой (р. 63), бурозема (37) (рис. 2).

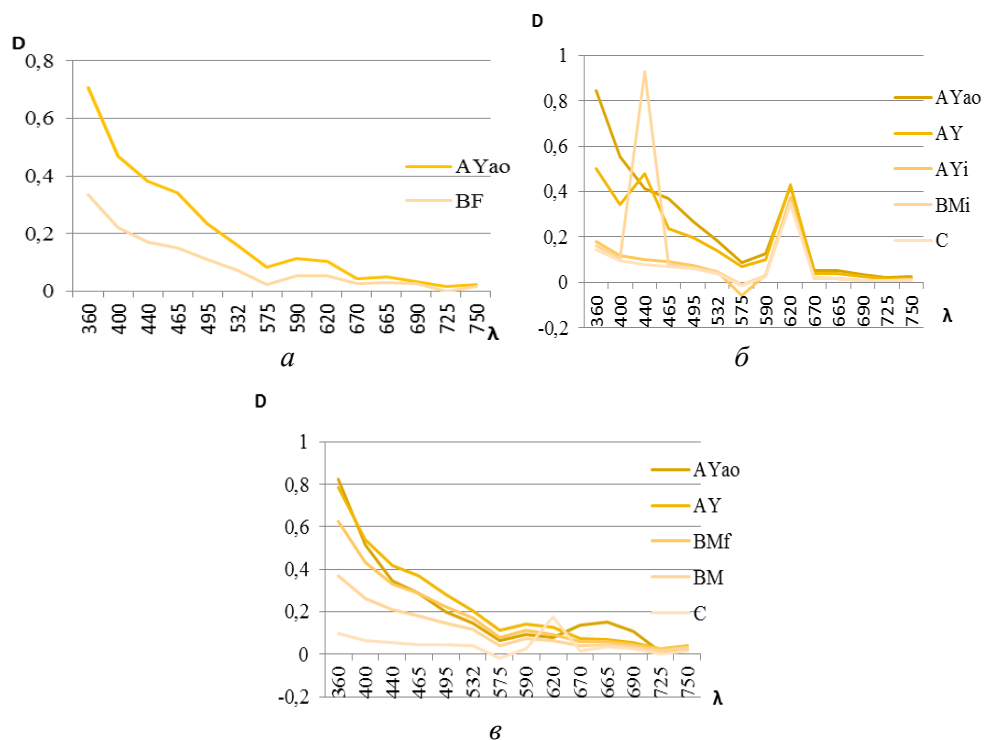


Рис. 2. Электронные спектры гуминовых кислот в почвах: а – р. 18 – Дерново-подбур; б – р. 63 – Серогумусовая; в – р. 37 – Бурозем грубогумусированный ожезненный

Форма спектральной кривой связана с тональностью окраски. Резкое падение спектральной кривой в области 400–500 нм указывает на более бурую или желтоватую окраску раствора гуминовых кислот. Такой вид спектральной кривой у дерново-подбура (рис. 2, *a*). Четко выражен перегиб в средней части спектров во всех типах почв в диапазоне волн 530–670 нм, что связано с влиянием оксидов Fe, придающего буроватую, желтоватую, красноватую окраску. При длине волны 620 нм, оптическая плотность с рН находятся в обратной зависимости (коэффициент корреляции $r = -0,61$). Именно эта длина волны попадает в диапазон значений, в которых наблюдается пик во всех типах почв.

Исследование показало, что высотная поясность хребта Басеги значительно влияет на формирование гумусового профиля почв. Различия в распределении органического углерода отражают специфику гумификации и миграции органического вещества в каждом высотном-растительном поясе.

Литература

1. Кудеяров В.Н. Роль почв в круговороте углерода // Почвоведение. 2005. № 8. С. 915–923.
2. Кудеяров В.Н. Почвенное дыхание и секвестрация углерода (обзор) // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1011–1022.
3. Самофалова И.А. Индикационная связь между генетическими признаками почв и высотными ландшафтами на Среднем Урале (хребет Басеги) // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 2 (18). С. 42–48.
4. Самофалова И.А., Фомина А.Г. Характеристика качественного состава органического вещества в почвах (хребет Басеги, Средний Урал) // Материалы Межд. научной конференции I Никитинские чтения «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах» (19–22 ноября 2019 г.). Пермь: ИПЦ «Прокрость»: Пермский ГАТУ, 2020. С. 129–133.
5. Самофалова И.А., Фомина А.Г. Водорастворимые и легкоразлагаемые формы органического углерода в горных почвах (хребет Басеги) // Природа Басег: труды Государственного заповедника «Басеги». Вып. 6: сборник статей. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. С. 47–56.
6. Полевой определитель почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

Эмиссия CO₂ из почв: аналитический обзор

Н.А. Фром, А.С. Чумбаев*

*Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения
Российской академии наук, Новосибирск, Россия
chumbaev@issa-siberia.ru

Аннотация. Эмиссия CO₂ может являться индикатором интенсивности разложения органических веществ почвы и позволяет охарактеризовать одну из важнейших сторон биологического круговорота углерода. Интенсивность дыхания почвы и содержание диоксида углерода в почвенном воздухе зависит от температуры и влажности почвы, уровня почвенно-грунтовых вод, от роста надземной и корневой массы растений. Помимо этого, следует учитывать зависимость не только от почвенных и погодных условий, но и от физического состояния растений и микробных сообществ, видового состава и густоты растительного покрова и др.

Ключевые слова: эмиссия CO₂, дыхание почв

CO₂ emission from soils: an analytical review

N.A. From, A.S. Chumbaev*

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
chumbaev@issa-siberia.ru

Summary. CO₂ emission can be an indicator of the intensity of soil organic matter decomposition and allows us to characterize one of the most important aspects of the biological carbon cycle. The intensity of soil respiration and the concentration of carbon dioxide in the soil air depend on the temperature and moisture content of the soil, the level of groundwater, and the growth of above-ground and root mass of plants. In addition, it is important to consider the dependence not only on soil and weather conditions, but also on the physical state of plants and microbial communities, the species composition and density of vegetation cover, and other factors.

Keywords: CO₂ emission, soil respiration

К парниковым газам (ПГ) относят такие химические соединения атмосферы естественного и антропогенного происхождения, которые поглощают и излучают радиацию в том же инфракрасном диапазоне, что и поверхность земли, атмосфера и облака. Двуокись углерода (CO₂), метан (CH₄) и закись азота (N₂O) относят к главным «антропогенным» парниковым газами, повышение концентрации в атмосфере которых, по мнению ряда ученых, является одной из основных причин глобального изменения климата [1, 2]. В настоящее время вклад диоксида углерода в усиление парникового эффекта составляет около 80%, метана – 18–19%, оставшиеся 1–2% приходятся на закись азота, некоторые другие газы и озон [3].

В связи с угрозой глобального потепления, вызванного парниковым эффектом, одна из актуальных задач современности заключается в получении объективных оценок углеродного баланса как отдельных регионов, так и биосферы в целом [4].

Ученые [3, 5] полагают, что около 90% атмосферного CO_2 имеет почвенное происхождение, что важно при рассмотрении ключевой позиции почвенного покрова в биосферном круговороте этих газов.

Дыхание почв, под которым понимают эмиссию CO_2 из почвы в атмосферу [6, 7] является одним из главных потоков в глобальном цикле углерода [8, 9].

Скорость и объем эмиссии CO_2 из почвы определяется дыханием почвенных микроорганизмов и корней растений, при этом доля деятельности гетеротрофных микроорганизмов, минерализующих почвенное органическое вещество, составляет приблизительно 70% [5]. Общий поток углекислого газа из почвы включает в себя несколько составляющих:

- 1) микробное разложение корневых выделений и остатков корней;
- 2) корневое дыхание растений;
- 3) микробное разложение гумусовых веществ;
- 4) дополнительное микробное разложение гумуса за счет повышенной активности микроорганизмов в ризосфере [10, 11].

Эмиссия углекислого газа может являться индикатором интенсивности разложения органических веществ почвы и позволяет охарактеризовать одну из важнейших сторон биологического круговорота углерода. Интенсификация потоков CO_2 из почвы приводит к глобальному дисбалансу диоксида углерода в атмосфере [12].

Интенсивность дыхания почвы и содержание диоксида углерода в почвенном воздухе зависит от многих факторов, но ведущими можно назвать температура и влажность почвы, запасы надземной и подземной фитомассы, видовая принадлежность растений. Помимо этого, следует учитывать зависимость не только от почвенных и погодных условий, но и от физического состояния растений и микробных сообществ и др. [13].

Дыхание почв отличается высокой пространственной неоднородностью как в пределах одной биоклиматической зоны, так и на территории России в целом, которая характеризуется значительным разнообразием природно-климатических условий. Пространственная вариабельность почвенного дыхания в пределах одной биоклиматической зоны или участка исследования будет в значительной степени определяться почвенно-растительными условиями (тип ценоза, особенности расположения и тип корневых систем растений, физико-химические характеристики почв), т.е. биотическими факторами. Содержание диоксида углерода в почвенном воздухе в сотни раз больше, чем в атмосферном, кислорода – на 10–20% ниже. В пахотных почвах концентрация CO_2 составляет только 1–2%. При внесении свежих органических удобрений содержание углекислого газа повышается до 2, а иногда до 9–12%. Эмиссия диоксида углерода в атмосферу зависит от типа почвы, содержания

органического вещества, влажности и имеет свои закономерности: в годовом цикле динамики O_2 и CO_2 в почвенном воздухе максимальное содержание O_2 и минимальное CO_2 приходится на летний период, а осенью и зимой почвенно-грунтовая толща освобождается от ранее накопленного углекислого газа [14].

В докладе IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) [15] отмечается беспрецедентный по скорости рост концентрации углекислого газа в атмосфере за последние 250 лет. До начала индустриализации (1750 г.) средняя глобальная концентрация двуокиси углерода в атмосфере составляла примерно (280 ± 10) ppm, и к 2005 г. составила около 380 ppm. При этом годовой темп роста концентрации CO_2 за период с 1995 по 2005 г. составил 1,9 ppm/год. После 1750 г. концентрация CO_2 выросла на 35% и в 2014 г. превысила отметку в 400 ppm.

В мировой практике наиболее распространены методы определения почвенного дыхания с использованием закрытых камер. Учитывая актуальность и достоверность данных о почвенном дыхании, метод камер является наиболее предпочтительным, поскольку его результаты позволяет получить более предметную фактическую информацию. Ранние модификации камерного метода получили название «абсорбционного метода», поскольку выделяющийся из почвы углекислый газ абсорбировался щелочью, которую после определенного времени экспозиции подвергали титриметрическому анализу. В современных модификациях камерного метода изменение концентрации углекислого газа в камерах определяют при помощи портативных инфракрасных газоанализаторов или стационарными хроматографами после отбора газовых проб через определенные промежутки времени [16].

Скорость и объем потока углекислого газа сильно реагируют на смену погодных условий через изменение гидротермического режима почв, что определяет ее значительную временную изменчивость. Поэтому для получения адекватных оценок суммарной годовой величины дыхания почвы требуется проведение многолетних, регулярных, круглогодичных наблюдений.

Литература

1. Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. Ответ А.В. Смагину: II. Углеродный баланс России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2014. Т. 5, № 2. С. 50–70.
2. Ehhalt D.H. The atmospheric cycle of methane // Tellus. 1974. Vol. 1. P. 58–70.
3. Dalal R.C., Allen D.E. Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems. Turner review // Australian. J. 2008. № 18. P. 369–407.
4. Заварзин Г.А. Предисловие // Дыхание почвы. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1993. С. 3–10.
5. Федоров Ю.А. Сухоруков В.В., Трубник Р.Г. Аналитический обзор: эмиссия и поглощение парниковых газов почвами. Экологические проблемы // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7, № 1. С. 6–34. doi: 10.17072/2410-8553-2021-1-6-34
6. Кудяров В.Н. [и др.] Оценка дыхания почв России // Почвоведение. 1995. № 1. С. 33–42.

7. Raich J.W., Potter P.S. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils // *Global Biogeochemical Cycles*. 1995. Vol. 9, 1. P. 23–36.
8. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // *Вестник РАН*. 2006. № 1 (76). С. 14–29.
9. Bond-Lamberty B., Thomson A. A global database of soil respiration data // *Biogeosciences*. 2010. Vol. 7, 6. P. 1915–1926.
10. Комарова Т.В. Экологическая оценка почвенной эмиссии CO₂ в сукцессионном ряду зарастания залежи на территории Центрально-Лесного заповедника: дис. ... канд. биол. наук: М., 2019. 301 с.
11. Евдокимов И.В. [и др.] Определение вклада дыхания корней растений в эмиссию CO₂ из почвы методами субстрат-индуцированного дыхания // *Почвоведение*. № 3. 2010. Р. 349–355.
12. Курганова И.Н. [и др.] Анализ многолетней динамики дыхания почв в лесном и луговом ценозах Приокско-Террасного биосферного заповедника в свете современных климатических трендов // *Почвоведение*. 2020. № 10. Р. 1220–1236.
13. Наумов А.В. Сезонная динамика и интенсивность выделения CO₂ в почвах Сибири // *Почвоведение*. 1994. № 12. С. 77–83.
14. Околелова А.А. Экологические принципы сохранения почвенного покрова. Волгоград: РПК «Политехник», 2006. 96 с.
15. IPCC Climate Change. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. United Kingdom and New York. USA: Press C.U., 2013. 1535 p.
16. Методы количественной оценки потоков диоксида углерода из почв / В.О. Лопес де Гереню [и др.] // *Методы исследований органического вещества почв: сб. статей*, Владимир. 2005. С. 408–425.

УДК 631.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-16

Динамика почвенного покрова юго-восточной части города Томска на основе исторических данных

Л.В. Хоцкова^{1*}, Р.С. Омаров^{2}**

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

**khotskova77@mail.ru*

***omarov97rs@mail.ru*

Аннотация. В статье представлен краткий исторический обзор исследований почвенного покрова Опытного участка Сибирского ботанического сада Национального исследовательского Томского государственного университета по картографиче-

ским и публикационным материалам за 1912–1977 гг. Выявлено преобладание оподзоленных и болотных почв по данным, как крупно-, так и среднемасштабных карт и планов.

Ключевые слова: почвенный покров, исторический обзор, опытный участок, Сибирский ботанический сад, почва

Dynamics of the soil cover in the south-east suburbs of Tomsk based on historical data

L.V. Khotskova^{1*}, R.S. Omarov^{2}**

¹ *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

² *Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation*

**khotskova77@mail.ru*

***omarov97rs@mail.ru*

Summary. The article provides a brief historical overview of studies of the soil cover of the Experimental Site of the Siberian Botanical Garden of the National Research Tomsk State University based on cartographic and publication materials from 1912 to 1977. The prevalence of podzolized and marshy soils was identified using both large-scale and medium-scale maps and plans.

Keywords: soil cover, historical review, experimental plot, Siberian Botanical Garden, soil

Сибирский ботанический сад Национального исследовательского Томского государственного университета (СибБС НИ ТГУ) является одним из крупнейших ботанических учреждений в азиатской части России, структурно подразделяется на две территории: Заповедный парк с оранжерейно-тепличным комплексом (площадью 10 га и 6500 м², соответственно) на территории Университетской рощи ТГУ и Экосистемную дендрологическую территорию (ЭДТ) в юго-восточной части г. Томска с площадью 107,4 га [1], которая признана особо охраняемой территорией регионального значения [2].

Экосистемная дендрологическая территория СибБС НИ ТГУ (опытный участок, экспериментальное хозяйство) представляет собой зеленый массив, расположенный на урбанизированной территории, где в настоящее время сосредоточены основные коллекционные фонды деревьев и кустарников. Формирование ландшафта проводилось с учетом особенностей рельефа водораздельной равнины с восточным уклоном террас рек Томи и Ушайки. Наиболее высокие точки достигают 140 м над уровнем моря, низкие – опускаются до 80 м. Общий характер рельефа территории напоминает амфитеатр [3].

Целью настоящего исследования является определение динамики почвенного покрова юго-восточных окрестностей города Томска на основе исторических данных, включающих в себя картографические источники.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести векторизацию и анализ картографических данных за 1912, 1928, 1971, 1977 гг. в пределах границ Экспериментального хозяйства СибБС НИ ТГУ;

2. Оценить динамику изменчивости почвенного покрова по историческим данным в пределах Опытного участка СибБС НИ ТГУ.

Объектом настоящего исследования выступает почвенный покров территории Опытного участка. Небольшая площадь данного участка Сибирского ботанического сада характеризуется одинаковыми климатическими условиями, но сложным рельефом, что отражается на условиях почвообразования разных его частей. На территории опытного участка распространены как автоморфные серые лесные оподзоленные почвы на вершинах плоских увалов и пологих наиболее дренированных склонах с северной и южной экспозициями, так и полугидроморфные и гидроморфные почвы на слабодренированных участках [4].

Исходными данными для проведения анализа послужили картографические и аналитические материалы, изданные в период с 1912 по 1977 г. Они включают в себя схематическую карту почвенных районов средней части Томской губернии (составитель Н.И. Кузнецов, 1912 г.) [5], карту почв и растительности окрестностей города Томска (составленную почвоведом М.И. Рожанец и ботаником С.Е. Рожанец-Кучеровской, 1928 г.) [6], почвенный план Экспериментального хозяйства Сибирского ботанического сада (составленный К.А. Кузнецовым и Т.П. Славниной, 1971 г.) [3], почвенную карту юго-восточной части Западной Сибири (ответственный редактор Р.В. Ковалёв, 1977 г.) [7].

Для проведения аналитических операций почвенные карты были пространственно привязаны и векторизованы в границах Опытного участка с помощью геоинформационного программного обеспечения QGIS 3.34 на эллипсоиде WGS-84 в проекции UTM Zone 45N [8].

В ходе исследования получено 4 почвенных плана, отражающие состояние почвенного покрова в разные промежутки времени.

На рисунке 1 показано состояние почвенного покрова на 1912 и 1928 гг. Преобладающими, по состоянию на 1912 г., являются лесные суглинки и подзолистые почвы. Однако, при более детальном исследовании коллектива М.И. Рожанец и С.Е. Рожанец-Кучеровской (1928), выявлено большее разнообразие, что впрочем может быть объяснено использованием различных классификаций.

Наиболее детальным исследованием почвенного покрова участка является научная работа К.А. Кузнецова и Т.П. Славниной, проведенная в период с 1944 по 1971 гг. Обобщение было проведено при составлении почвенной карты юго-восточной части Западной Сибири (1977), на которой показаны почвы, расположенные на исследуемом участке (рис. 2).

Составили: Р.С. Омаров, Л.В. Хоцкова

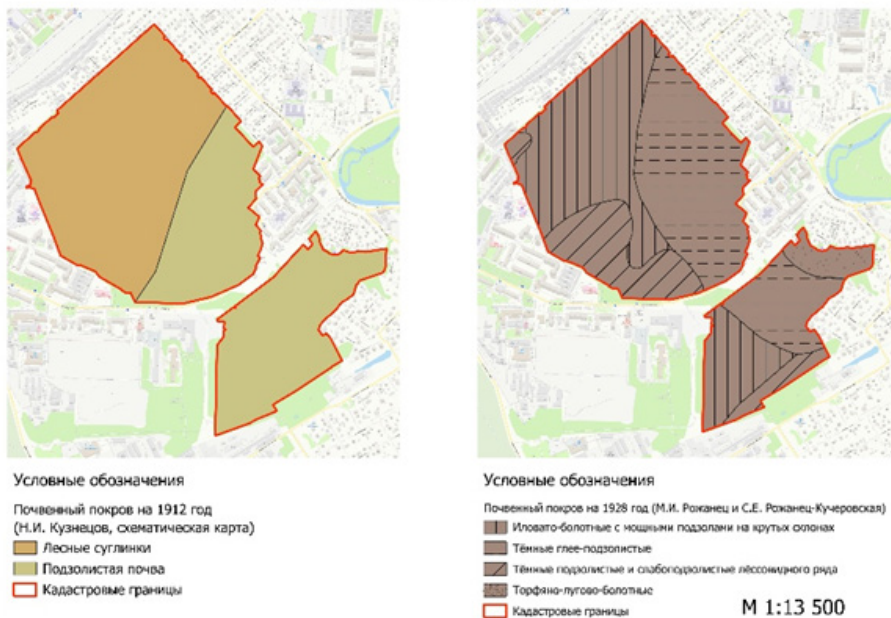


Рис. 1. Почвенные планы Опытного участка по состоянию на 1912 г. и 1928 г.

Составили: Р.С. Омаров, Л.В. Хоцкова

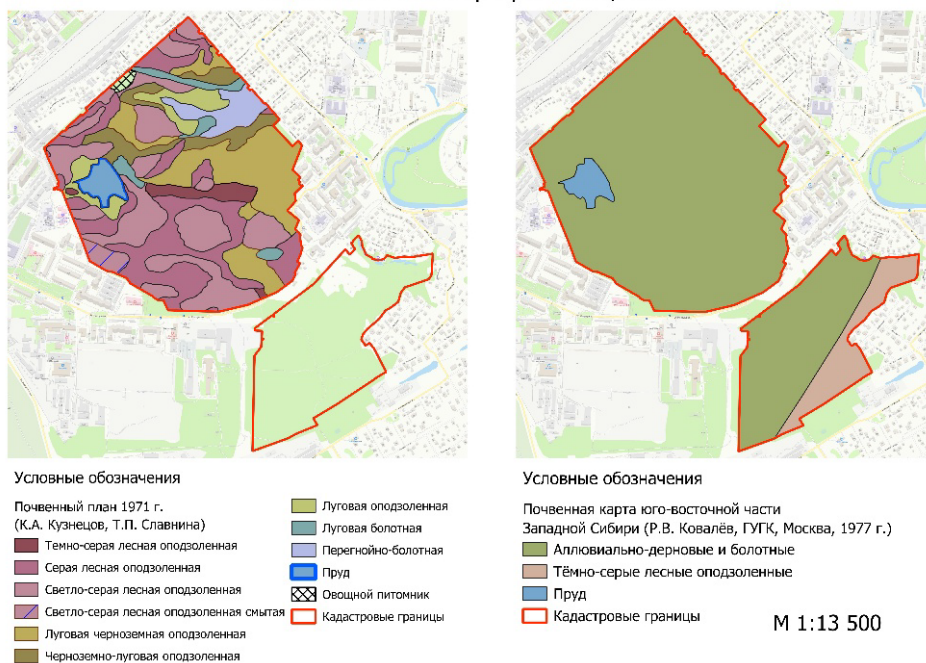


Рис. 2. Почвенные планы Опытного участка по состоянию на 1971 г. и 1977 г.

Таким образом, по разновременным картографическим данным выявлено, что в пределах территории исследования определялось преобладание подзолистых почв. При проведении детальных исследований в 1928 г. выявлены болотные почвы в направлении к бассейну р. Ушайки, которые были подтверждены и подробно классифицированы в 1971 г., когда территория исследования уже находилась в составе Сибирского ботанического сада НИ ТГУ.

Литература

1. Публичная кадастровая карта России. URL: <https://pkk.rosreestr.ru> (дата обращения: 16.05.2025).
2. Постановление Администрации Томской области «Об особо охраняемой природной территории регионального (областного) значения „Сибирский ботанический сад“ от 15 марта 2004 г. № 21а (с изменениями на 17 февраля 2006 г.)» // Профессиональные справочные системы «Техэксперт». Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации Консорциум «Кодекс». URL: <http://docs.cntd.ru/document/951808303> (дата обращения 16.05.2025).
3. Кузнецов К. А., Славнина Т.П. Почвы Сибирского ботанического сада // Бюллетень Сибирского ботанического сада. 1971. Вып. 5. С. 89–126.
4. Спирина В.З. Тарасюк Д.И., Хоцкова Л.В. Почвы дендрологической территории Сибирского ботанического сада // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов VII Международной научной конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Томск: ТГУ, 2020. С. 95–98.
5. Схематическая карта почвенных районов средней части Томской губернии (составитель Н.И. Кузнецов, 1912 г.). URL: http://www.etomesto.ru/map-tomsk_seredina-gub-1912/?y=56.716820&x=84.300729 (дата обращения: 16.05.2025).
6. Рожанец М.И., Рожанец–Кучеровская С.Е. Почвы и растительность окрестностей г. Томска: с картой почв и растительности в 2-х верстном масштабе. Томск: [б. и.], 1928. С. 315–405.
7. Почвенная карта юго-восточной части Западной Сибири / отв. ред. Р.В. Ковалёв, 1977 г.). URL: http://www.etomesto.ru/map-novosibirsk_pochva-uv-sibiri-1977/?y=56.495669&x=84.966643 (дата обращения: 16.05.2025).
8. QGIS знакомство. URL: <https://qgis.org/ru/site/about/index.html> (дата обращения: 16.05.2025).

Современные подходы к изучению генезиса и классификации мерзлотных почв Южной Якутии

А.П. Чевычелов

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,
Якутск, Россия
chev.soil@list.ru*

Аннотация. В данной статье проведен анализ географо-генетических исследований мерзлотных почв Южной Якутии в аспекте истории промышленного освоения и развития данного уникального региона. Показано, что за длительный период проведения этих исследований, накоплен обширный материал по особенностям географического распространения, генезиса, классификации и разнообразию почв исследуемого региона. При этом систематический список почв исследуемой территории суммарно включает 19 типов и 20 подтипов почв.

Ключевые слова: Южная Якутия, мерзлотные почвы, география, генезис, разнообразие

Modern approaches to the study of the genesis and classification of permafrost soils of South Yakutia

A.P. Chevychelov

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS,
Yakutsk, Russian Federation
chev.soil@list.ru*

Summary. This article analyzes the geographer-genetic studies of permafrost soils of South Yakutia in the aspect of the history of industrial development and development of this unique region. It is shown that over a long period of these studies, extensive material has been accumulated according to the features of geographical distribution, genesis, classification and the variety of soils of the region being studied. At the same time, the systematic list of soils of the test territory in total includes 19 types and 20 soil subtypes

Keywords: Southern Yakutia, permafrost soils, geography, genesis, diversity

В 2025 г. исполнится ровно 100 лет с начала систематических почвенных исследований, проводимых на обширной территории Южной Якутии, предельно контрастной в литолого-геохимическом и ландшафтно-климатическом отношении. Безусловно, эти работы логично вписываются в общую историю этого уникального региона, связаны с его промышленным освоением и изменением транспортной доступности. За этот длительный период накоплен обширный и многоплановый материал по особенностям географического распространения, генезиса, классификации и разнообразию мерзлотных почв исследуемого региона. Однако данный материал до последнего

времени не был обобщен. В связи с этим целью данной статьи являлось обобщение накопленного материала по почвенно-географическим и почвенно-генетическим исследованиям, а также разнообразию мерзлотных почв Южной Якутии в аспекте исторического и промышленного развития данного уникального региона криолитозоны.

Объектами исследования являлись мерзлотные зональные, аazonальные и интразональные почвы Южной Якутии, сформированные в предельно контрастных условиях природной среды этого региона (рисунок, таблица).



а



б



а



б

Мерзлотные почвы, развитые на бескарбонатных почвообразующих породах Южной Якутии: *а* – бурозём типичный, разр. 4-89Т; *б* – подзол иллювиально-железистый, разр. 4БГ-03; *в* – палево-бурая типичная, разр. 5БГ-03; *г* – болотная верховая, разр. 2БГ-03

При подготовке данной статьи нами были обобщены все имеющиеся доступные материалы, т.е. в основном статьи, авторские и коллективные монографии, опубликованные в различные периоды проведенных почвенных исследований [1–6]. Все данные исследования были осуществлены по принятым в почвоведении методам с привлечением стандартных методик лабораторных работ.

Систематический список мерзлотных почв Южной Якутии

№ п/п	Тип почв	№ п/п	Подтип почв
Почвы, развитые на бескарбонатных почвообразующих породах горных хребтов, нагорий и плоскогорий Южной Якутии			
1	Эмбриозёмы органо-аккумулятивные	–	Без разделения
2	Эмбриозёмы гумусово-аккумулятивные	–	Без разделения
3	Подбуры горно-тундровые	1	Типичные
		2	Сухоторфянистые
4	Горно-луговые	–	Без разделения
5	Подбуры таежные	3	Типичные
		4	Оподзоленные
6	Подзолы	5	Иллювиально-железистые
		6	Иллювиально-гумусовые
7	Бурозёмы типичные	–	Без разделения
8	Бурозёмы грубогумусовые	–	Без разделения
9	Палево-бурые	7	Типичные
		8	Оподзоленные
		9	Глееватые
10	Лугово-болотные	–	Без разделения
11	Болотные верховые	–	Без разделения
12	Аллювиальные слоистые	–	Без разделения
13	Аллювиальные светлогумусовые	10	Типичные
		11	Оподзоленные
Почвы, развитые на карбонатных почвообразующих породах горных хребтов и плато Южной Якутии			
14	Дерново-карбонатные	12	Типичные
		13	Выщелоченные
		14	Оподзоленные
15	Перегноино-карбонатные	15	Типичные
		16	Выщелоченные
		17	Глееватые
16	Подзолистые остаточно-карбонатные	–	Без разделения
17	Палевые	18	Выщелоченные
18	Болотные низинные	–	Без разделения
19	Аллювиальные темногумусовые	19	Типичные
		20	Глееватые

Более чем столетний временной ряд с начала почвенных исследований на территории Южной Якутии может быть разделен в историческом плане на три периода: 1) 1911–1924 гг.; 2) 1925–1991 гг.; 3) 1991 – по настоящее время.

Первый или начальный этап почвенных исследований ведёт отсчёт с 1911 г., когда была организована экспедиция Н.И. Прохорова на Становой хребет. В это время данные исследования носили дискретный характер и осуществлялись, главным образом, в почвенно-географическом направлении.

Второй период, так называемый советский, был самым продолжительным по времени и эффективным по результатам. За этот 66-летний период Южная Якутия превратилась в главный промышленный регион республики. Здесь сформировались Центральнo-Алданский золотопромышленный и Нерюнгринский угольнопромышленный районы, а также Южно-Якутский топливно-энергетический комплекс и был построен Малый БАМ. В этот период, начиная с 1925 г. со времени работ Алданского отряда комплексной экспедиции АН СССР, почвенные исследования в данном регионе осуществлялись широко, носили глубокий географо-генетический характер, а иногда даже и режимно-стационарный. В это время были организованы многолетние почвенные исследования на стационарах, размещенных в районе пос. Канку на Алданском нагорье и в окрестностях пос. Чульман в Чульманской впадине.

В третий период, когда начал реализовываться проект «Комплексного развития Южной Якутии» и было продолжено строительство железной дороги «Беркакит–Томмот–Якутск» почвенные исследования, осуществляемые обычно в рамках проектов ОВОС, выполнялись как сопровождающие работы крупных мегапроектов промышленного освоения данного региона. На этом этапе почвенные исследования носили в основном почвенно-экологический характер и были нацелены на сохранение биосистемных функций и разнообразия почв этого уникального региона криолитозоны. При этом Южная Якутия отличается максимальным разнообразием почв, когда их систематический список, составленный по результатам всех географо-генетических исследований, суммарно включает 19 типов и 20 подтипов почв.

Литература

1. Петрова Е.И. Почвы Южной Якутии. Якутск: Якутское книжное изд-во, 1971. 168 с.
2. Коновровский А.К. Почвы севера зоны Малого БАМа. Новосибирск: Наука, 1984. 120 с.
3. Чевычелов А.П., Коновровский А.К., Зигерт Х.О генетической сущности остаточно-карбонатных почв Южной Якутии // Почвоведение. 1990. № 3. С. 5–16.
4. Герасимов И.П. Перегнойно-карбонатные мерзлотные почвы Алдано-Ленского междуречья // Почвоведение. 1965. № 2. С. 32–42.
5. Филимонова Л.Г. К характеристике таежных почв Алданского и Томмотского районов Якутской АССР // Почвоведение. 1965. № 3. С. 13–20.
6. Чевычелов А.П. Почвы таежного пояса Токинской котловины и хребта Токинский Становик // Почвоведение. 2000. № 10. С. 1187–1196.

СЕКЦИЯ 2 ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВЯЗИ ПОЧВ С ГЕОСФЕРАМИ

SECTION 2 SPATIAL AND FUNCTIONAL RELATIONSHIPS OF SOILS WITH GEOSPHERES

УДК 631.423.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-18

Гранулометрический состав и содержание органического углерода в донных отложениях бухт Баклан и Бойсмана залива Петра Великого

А.В. Брикманс*, М.А. Бовсун

Дальневосточный федеральный университет,

Владивосток, Россия

**brikmans.av@dvfu.ru*

Аннотация. В работе представлены данные о накоплении органического углерода в зависимости от фракций гранулометрического состава. Данные показали, что при увеличении в донных отложениях суммы фракций физической глины ($<0,01$ мм) наблюдается увеличение в содержании органического углерода.

Ключевые слова: донные отложения, гранулометрический состав, органический углерод, Японское море

Granulometric composition and organic carbon content in the aquatic soils of Cormorant Bay and Boisman Bay of Peter the Great Bay

A.V. Brikmans*, M.A. Bovsun

Far Eastern Federal University, Vladivostok,

Russian Federation

**brikmans.av@dvfu.ru*

Summary. The paper presents data on the accumulation of organic depending on the fractions of the granulometric composition. The data showed that with an increase in the sum of fractions of physical clay ($<0,01$ mm) in the bottom sediments, an increase in the content of organic carbon is observed.

Keywords: bottom sediments, granulometric composition, organic carbon, Sea of Japan (East Sea)

В настоящее время исследование экосистем морских акваторий представляет интерес по нескольким причинам: для понимания их роли в современном глобальном перераспределении вещества и энергии, в частности углерода; мониторинга трансформации под воздействием изменения климата и антропогенной деятельности; для их устойчивого управления. Аквапочвы как компонент морских экосистем играют немаловажную роль при рассмотрении данных вопросов. Аквапочвы – это биокосные тела, формирующиеся на дне водоемов под воздействием почвообразовательных процессов, в результате которых формируется органоминеральный комплекс [1]. Гранулометрический состав является следствием почвообразующих пород и определяет физические, физико-химические и химические свойства как почв суши, так и аквапочв. Соотношение содержания фракций физического песка и физической глины объясняет механизмы закрепления органического вещества в поверхностном слое донных отложений (аквапочв). Как правило, донные отложения, в которых преобладает фракция физической глины, имеют более высокое содержание органического вещества [2]. Гранулометрический состав и органическое вещество (ОВ) тесно взаимосвязаны, поскольку различные фракции первого с разной степенью интенсивности фиксируют и позволяют накапливаться второму (ОВ). Более мелкие почвенные фракции наиболее «активны», что в свою очередь при преобладающем их наличии в почве способны влиять на различные физические и химические процессы, протекающие в почве [3, 4]. На процесс разложения органического вещества оказывают влияние воздух, влага и химический состав пород. При недостатке воздуха и избытке влаги в донных отложениях создаются условия для анаэробного микробиологического процесса разложения, что также зависит от гранулометрического состава и органического вещества донных отложений. В связи с этим необходимо рассматривать содержание органического вещества и гранулометрический состав в донных отложениях (аквапочвах) Японского моря и их прибрежных территорий для дальнейшей оценки их экологического состояния [3].

Объектами исследования являются донные отложения (аквапочвы), отобранные в ходе морского экспедиционного исследования НИС «Профессор Гагаринский» (рейс № 84) с помощью геологических колонок с глубин от 18,2 до 51,1 м (глубина, без учёта осадки судна 4,25 м). Отбор донных отложений (аквапочв) осуществлялся в шельфовой зоне бухты Баклан и бухты Бойсмана, расположенных в заливе Петра Великого (Японское море). Для проведения анализа использовался верхний смешанный образец геологической колонки от 0 до 5 см. Схема-карта отбора образцов представлена на рисунке.

В исследуемых образцах определяли гранулометрический состав образцов – сито-пипеточным методом с использованием 4%-го раствора пирофосфата натрия [5] и содержание органического углерода методом бихроматного окисления [6].

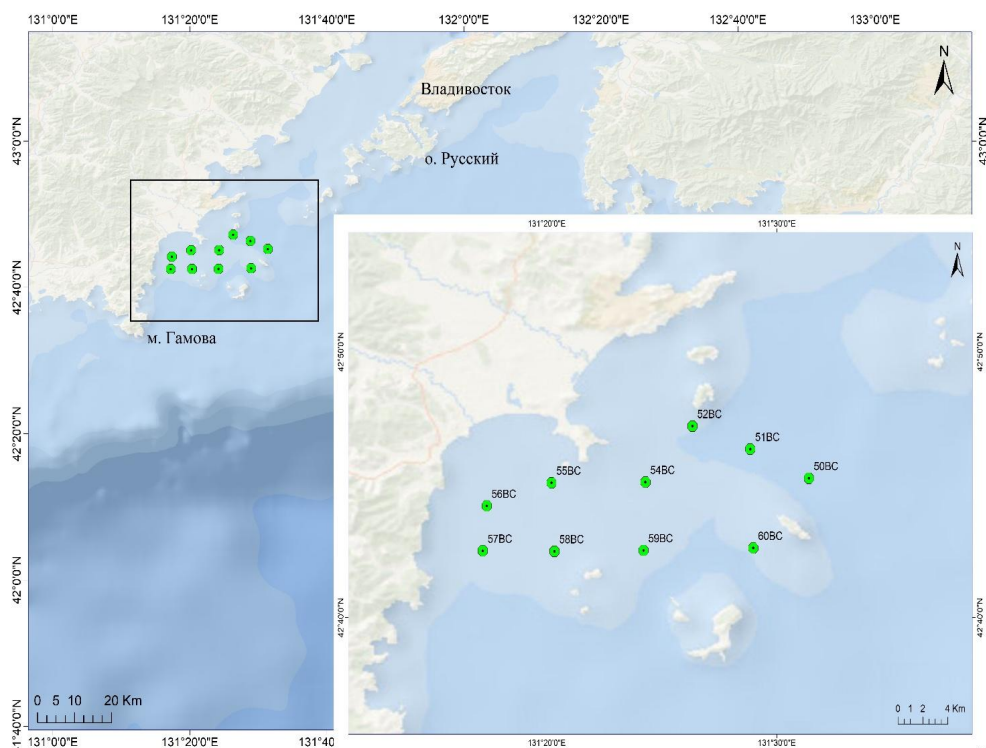


Схема-карта отбора образцов

Исследования показали, что гранулометрический состав донных отложений представлен супесью песчаной и песком связным мелкозернистым (таблица). Фракция мелкого песка (0,25–0,05 мм) преобладала в большинстве образцов, ее содержание варьирует от 56 до 70%. В образцах от 84-58 до 84-60 преобладающей является фракция крупного и среднего песка с содержанием частиц 47–87%. Минимальное содержание до 10% отмечено для фракции пыли разной крупности. Распределение фракций физического песка ($r = 0,69$; $p < 0,05$) и фракции физической глины ($r = 0,69$; $p < 0,05$) зависело от глубины отбора образцов.

Согласно данным коэффициента корреляции Пирсона, содержание фракции физического песка во всех образцах достоверно отрицательно коррелировало с содержанием органического углерода ($r = 0,88$; $p < 0,001$). Содержание фракции физической глины достоверно положительно коррелировало с содержанием органического углерода ($r = 0,88$; $p < 0,001$). Содержание органического углерода достоверно не зависело от глубины отбора образцов ($r = 0,54$; $p = 0,112$). В районе исследования отмечен активный терригенный сток, связанный с речным выносом. Колебания интенсивности терригенного стока, вероятно, обуславливает неравномерное содержание органического углерода в зависимости от глубины отбора образцов.

Гранулометрический состав и содержание органического углерода в аквапочвах бухты Баклан и бухты Бойсмана, %

Объект исследования	C _{орг} , %	Физический песок	Физическая глина	Название почв по Н.А. Качинскому [5]
84-50	0,76	86,8	13,2	Супесь песчаная
84-51	1,09	84,0	16,0	Супесь песчаная
84-52	0,80	89,4	10,6	Супесь песчаная
84-54	0,79	89,9	10,1	Супесь песчаная
84-55	0,81	89,3	10,7	Супесь песчаная
84-56	0,41	90,8	9,2	Песок связной мелкозернистый
84-57	0,52	90,4	9,6	Песок связной мелкозернистый
84-58	0,37	95,2	4,8	Песок связной среднезернистый
84-59	0,26	93,2	6,8	Песок связной среднезернистый
84-60	0,83	88,4	11,6	Супесь песчаная

Таким образом, исследования показали, что в аквапочвах бухты Баклан и бухты Бойсмана Японского моря распределение органического углерода зависит от распределения фракций гранулометрического состава. Увеличение дисперсности частиц аквапочвы приводит к увеличению содержания органического углерода.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Минобрнауки России № FZNS-2023-0011.

Литература

1. Ивлев А.М., Нестерова О.В. К вопросу об изучении аквапочв // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2004. № 4 (116). С. 47–52.
2. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
3. Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1965. 324 с.
4. Галышева Ю.А. [и др.] Некоторые экологические параметры водной среды и донных отложений бухты Киевка Японского моря // Известия ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 114–124.
5. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. 160 с.
6. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 478 с.

Изменение элементного состава верхнего слоя торфа и подстиляющей породы в процессе восстановления постпирогенных участков болот

Л.П. Гашкова

*Сибирский институт сельского хозяйства и торфа –
филиал Сибирского федерального научного центра
агробиотехнологий РАН, Томск, Россия
Gashkova-lp@rambler.ru*

Аннотация. Приведены результаты мониторинга изменения концентрации элементов в торфе и подстиляющей породе в процессе восстановления трёх верховых болот после пожаров. Установлено, что коэффициенты концентрации (торф / подстиляющая порода) на постпирогенных и соседних с ними участках изменяются неодинаково. Однако на всех участках наблюдается тренд на увеличение коэффициента концентрации Mn и на снижение коэффициента концентрации Zn и Pb.

Ключевые слова: болото, пожар, содержание элементов, торф, подстиляющая порода, коэффициент концентрации

Changes in the elemental composition of the upper peat layer and underlying rock during the restoration of post-pyrogenic areas of bogs

L.P. Gashkova

*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – a branch
of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology RAS,
Tomsk, Russian Federation
Gashkova-lp@rambler.ru*

Summary. The article presents the results of research on three bogs. Two bogs are located in the taiga and one in the forest-tundra zone of Western Siberia. We carried out changes in the concentration of the elements Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd and Pb in peat and underlying rock during the restoration of three bogs after fires. We examined the bogs sites that were burned out during the fire and the adjacent sites. We have established that the ratio of elements in peat/bedrock (concentration coefficient) varies in post-pyrogenic and adjacent sites. However, there is a trend towards an increase in the Mn concentration coefficient and a decrease in the Zn and Pb concentration coefficients in all sites.

Keywords: raised moor, fire, element content, peat, underlying rock, concentration coefficient

Болота на протяжении тысячелетий аккумулируют органическое вещество, в результате чего создается потенциально пожароопасная среда [1]. Пожары на болотах негативно влияют на все компоненты экосистемы, и восстановление постпирогенных болот растягивается на многие годы [2]. После пожара в результате выгорания растительности и верхнего слоя торфа, в торфяной залежи, а особенно в её верхних слоях, повышается содержание некоторых элементов [3]. Провести эффективный мониторинг процессов изменения содержания элементов в торфе на постпирогенном болоте не просто из-за неравномерности накопления элементов даже внутри одного болотного массива. Поэтому для определения степени пирогенной нагрузки на выгоревших болотах возникают трудности при выборе фоновых участков. Кроме того, участки, соседние с постпирогенными, также испытывают влияние пожара из-за переноса химических элементов. На верховых болотах концентрация элементов в торфе обычно ниже, чем в подстилающей породе [4], поэтому превышение уровня концентрации элементов в торфе над концентрацией в подстилающей породе обычно свидетельствует о дополнительном поступлении элементов. В связи с этим для отслеживания процессов восстановления болота после пожара мы рассматривали не сравнение с фоновыми участками, а изменение коэффициента концентрации (КК), который рассчитывается как отношение содержания элементов в верхнем слое торфа к содержанию элементов в породе, подстилающей торф. Для анализа изменения КК по годам рассчитана величина достоверности аппроксимации отдельно для выгоревших и невыгоревших участков.

Исследование проводилось в течение трёх лет, с 2022 по 2024 гг., на трёх болотных массивах, на каждом из которых в 2016 г. произошёл пожар. Бакчарское и Усть-Бакчарское болото расположены в таёжной зоне, а Плоскобугристое – в лесотундровой зоне. На каждом из болотных массивов для сравнения выбраны постпирогенные и невыгоревшие, но расположенные в непосредственной близости от пожара, участки. Для вычисления коэффициента концентрации элементов Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd и Pb на каждом исследованном участке отбирались пробы торфа с глубины 0–20 см и образцы подстилающей торфяную залежь породы, всего использовано 136 образцов торфа и 21 образец подстилающей породы.

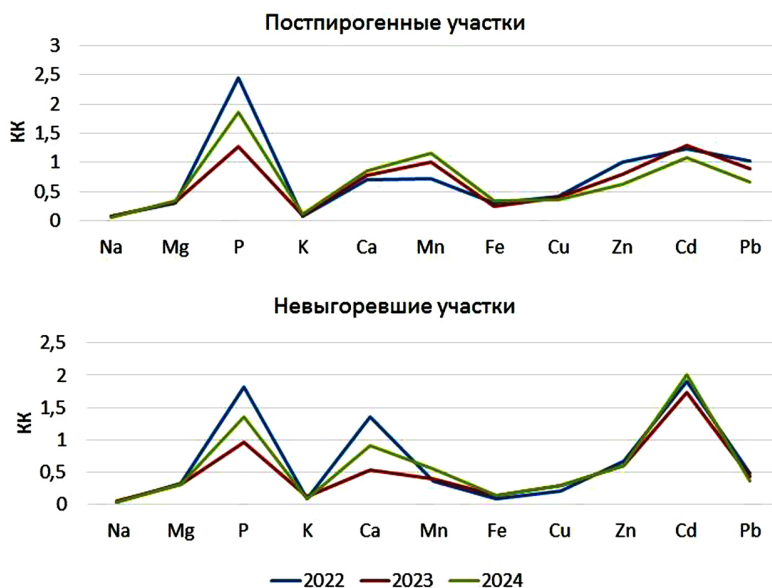
Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в первые годы после пожара концентрация некоторых элементов увеличивается в верхней части торфяной залежи на постпирогенных участках по сравнению с невыгоревшими и различается между болотными массивами. В самом верхнем слое торфа (0–5 см) достоверно увеличено содержание Na, Fe, Cd и Pb и снижено содержание Mg, K и Ca, по сравнению с аналогичным слоем торфа с невыгоревших участков. В корнеобитаемом слое торфа на большинстве постпирогенных участков зафиксировано увеличение концентрации Na, P, Mn, Fe, Cu, Zn и Pb.

При сравнении полученных нами данных по содержанию элементов в подстилающей породе не обнаружилось достоверных различий по содержа-

нию элементов между постпирогенными и невыгоревшими участками. Однако сравнение концентрации элементов в подстиляющей породе разных болотных массивов показало региональные особенности в виде достоверно более низкой концентрации P, Mg, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn и Pb на всех участках Плоскобугристого болота, по сравнению с аналогичными показателями на Бакчарском и Усть-Бакчарском болотах.

Обобщая результаты мониторинга изменения содержания элементов, на протяжении трёх лет сравнивались КК, рассчитанные отдельно для участков болота, не затронутых огнём и непосредственно для выгоревших участков. Сравнение средней величины КК на участках, соседних с постпирогенными, показало, что с 2022 по 2024 г. наблюдается тренд на снижение КК Zn и Pb и на увеличение КК Mn (коэффициент аппроксимации от 0,71 до 0,99). Величина КК на постпирогенных участках показала с 2022 по 2024 г. тренд на снижение КК Na, Cu, Zn и Pb и увеличение КК Mg, K, Ca и Mn (коэффициент аппроксимации от 0,9 до 0,99).

В течение трёх лет на невыгоревших участках отмечался более высокий КК для P, Ca и Cd, а на постпирогенных участках для P, Ca, Mn и Cd, чем для всех остальных элементов (рисунок).



Коэффициенты концентрации (КК) элементов на постпирогенных и фоновых участках

Обнаруженные в результате мониторинга изменения содержания элементов в верхнем слое торфа постпирогенных и соседних с ними участков могут происходить в результате многих процессов. Наибольшее влияние оказывает миграция элементов, накопленных в результате сгорания растительного покрова. Выявлено как уменьшение КК элементов, накопленных в результате

пожара, так и увеличение КК элементов, концентрация которых на постпирогенных участках в первые годы после пожара снижалась в результате выноса элементов.

Таким образом, мониторинг соотношения элементов показал, что спустя 6–8 лет после пожара как на постпирогенных, так и на соседних с ними участках болот происходят процессы перераспределения элементов в торфяной залежи и восстановление баланса экосистемы, нарушенной в результате пожара.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 22-77-10024.

Литература

1. Rybina T.A. [et al.] Studying the active layer of oligotrophic bogs in the Taiga zone of Western Siberia // International Journal of Environmental Studies. 2015. 72 (3). P. 448–455.
2. Белькова Т.А., Перминов В.А., Алексеев Н.А. Обзор эколого-экономических последствий торфяных пожаров // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. № 3. С. 35–44.
3. Гашкова Л.П. Оценка влияния выгорания растительности на распределение элементов в торфяной залежи верхового болота // Геосферные исследования. 2022. № 1. С. 118–125.
4. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 193 с.

УДК 631.48

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-20

Почвообразование на элювии плотных пород различного состава в Забайкалье

А.Б. Гынинова^{1*}, Н.Б. Бадмаев¹, А.И. Куликов¹, Б.Д. Гынинова¹,
А.Ц. Мангатаев¹, М.О. Рампилов^{2**}

¹ Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,

² Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН,

Улан-Удэ, Россия

* ayur.gyninova@mail.ru

** mrampilov@mail.ru

Аннотация. В Забайкалье, в гумидных условиях, в зоне распространения многолетнемерзлых пород, под листовенничной тайгой, на метаморфических эффузивах кембрия формируются криометаморфические грубогумусные почвы. В условиях семиаридного климата, глубокого промерзания, под сухими сосняками, на дериватах раннепалеозойских гранитоидов, формируются литоземы серогумусовые. В аридных

условиях, в пределах степного пояса, на глубокопромерзающих дериватах базальтов юрского времени формируются литоземы криогумусовые.

Ключевые слова: почвообразующая порода, метаморфизм, диагностика, классификация

Soil formation on the eluvium of dense rocks of different composition in Transbaikalia

A.B. Gyninova^{1*}, N.B. Badmaev¹, A.I. Kulikov¹, B.D. Gyninova¹,
A.Ts. Mangataev¹, M.O. Rampilov^{2**}

¹ *Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation*

² *N. L. Dobretsov Geological Institute. SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation*

**ayur.gyninova@mail.ru*

***mrampilov@mail.ru*

Summary. In Transbaikalia, in humid conditions, in the permafrost zone, under larch taiga, on Cambrian metamorphic effusives, cryometamorphic coarse-humus podzolized soils are formed. In semiarid climate conditions, deep freezing, under dry pine forests, on derivatives of early Paleozoic granitoids, gray-humus lithozems are formed. In arid conditions, within the steppe belt, on deeply freezing derivatives of Jurassic basalts, cryohumus lithozems are formed.

In soils of semi-arid and arid conditions, soil formation and weathering lead to the accumulation of dusty and fine-sand fractions and very weak clay formation.

Keywords: parent rock, metamorphism, diagnostics, classification

В Забайкалье в связи с горно-котловинным рельефом и геологической историей почвообразующие породы в основном представлены продуктами выветривания гранитоидов, среди которых доминируют легкие суглинки и супеси. На дериватах эффузивов основных пород описаны почвы тяжелого гранулометрического состава [1], классификационное положение которых требует уточнения. В связи с этим актуальна диагностика почв на элювии плотных пород различного состава.

Почвенные разрезы заложены на элювии интрузивных и эффузивных пород в привершинной части возвышенностей с относительными превышениями <100 м в южной части Витимского плоскогорья (ключевой участок «Дархитуй») и на севере Селенгинского среднегорья (ключевые участки «Булум-1» и «Булум-2»).

Коренные породы участка «Дархитуй» представлены вулканогенно-пирокластическими метаэффузивами, мраморизованными известняками, метаморфическими сланцами, песчаниками Хохюртовской свиты кембрия [2]. Участок «Булум-1» представлен раннепалеозойскими биотитовыми гранитами, гранодиоритами и сиенитами Витимканского комплекса. Участок

Булум-2 расположен в поле распространения хилокской свиты, представленной основными эффузивами базальтового ряда.

Участок «Дархитуй» находится в зоне распространения многолетней мерзлоты, характеризуется среднегодовой t° $-4,1^{\circ}\text{C}$, Σ осадков 305 мм/год, Кувл 0,61, климат семигумидный. Участок «Булум» имеет среднегодовую t° $-2,7^{\circ}\text{C}$, Σ осадков 210 мм/год, К увл 0,39–0,42, глубина промерзания ~ 3 м, климат семиаридный.

На участке «Дархитуй» под лиственничником в привершинной части возвышенности (h 1017 м) заложен разрез 3Е. Профиль почвы состоит из горизонтов АУао (0–5/6) – АУ (5/6–9) – АУе(9–14)–CRMi(14–32)–CRM(32–53)–BCrm(53–108). Грубогумусированный горизонт на контакте с гумусовым пронизан гифами грибов, ниже имеются признаки оподзоливания. Высокая степень агрегированности почвы и почвообразующей породы является результатом влияния криогенеза. Почва: дерново-криометаморфическая грубогумусированная, оподзоленная [3].

Ключевые участки «Булум-1» и «Булум-2» заложены $\sim$ в 100 км на ЗЮЗ от участка «Дархитуй» $\sim$ на 200 м ниже по высотному положению. На участке «Булум-1» в привершинной части возвышенности (h 870 м), под редкостойным сосняком заложен разрез 4Хор с профилем: О(0–2)–АУ (2–6)–Chf (6–14)–С (14–22). Маломощность лесной подстилки, буроватость гумусового горизонта, охристо-бурый цвет горизонта Chf, обнаруживают принадлежность почвы к типу литоземы серогумусовые [3]. На участке «Булум-2», в 2,5 км на восток от участка «Булум-1» на вершине холма (h 780 м) под степной растительностью заложен разрез 5Хор. Профиль почвы: АК(0–14 см)–АС(14–20/22 см)– R(>22–28 см). Гумусовый горизонт имеет красноватый оттенок – признак горизонта АК, горизонт АС серовато-светло-бурый. Почва по морфологическому строению близка типу литоземы криогумусовые.

Физико-химические свойства (табл. 1) почвы участка «Дархитуй» обнаруживают близкую к нейтральной и слабокислой реакции среды органогенных горизонтов. Почва, за исключением горизонта АУао, насыщена основаниями, что может быть связано с составом пород и с влиянием мерзлоты, когда при замерзании в талой части растворенные вещества концентрируются и выпадают в осадок [4]. Почва под сосняком на дериватах гранитоидов также имеет близкую к нейтральной и слабокислой реакции в поверхностных горизонтах, возможно, в связи со слабым выносом биогенных элементов в условиях семиаридного климата. ЕКО и содержание гумуса снижаются вниз по профилю. В почве р. 5Хор на дериватах базальтов реакция слабощелочная, ЕКО и содержание гумуса относительно высокое. Содержание CO_2 карбонатов возрастает вниз по профилю.

Выветривание и почвообразование на участке «Дархитуй» приводят к формированию мелкозема средне- и тяжелосуглинистого состава. Содержание илистой фракции возрастает вниз по профилю от 9,6 до 20,9%, что объясняется оглиниванием породы. В составе литозема серогумусового доминируют песчаные и пылеватые фракции, обнаруживая активное опесчанивание

и слитизацию в связи с частыми переходами через нулевой температурный рубеж и большими амплитудами изменений температуры. В профиле разреза 5Хор перераспределения фракций гранулометрического состава не наблюдается в результате малой подвижности образующегося мелкозема [5]. Пылеватая и мелкопесчаная фракции доминируют в связи с физическим выветриванием и микроагрегацией тонкодисперсных частиц, цементированием их железом с последующей кристаллизацией в период летнего иссушения [4].

Таблица 1

Физико-химические свойства почв

Горизонт, глубина, см	pH		Гумус, %	Обменные катионы		Н ⁺ гидр.	ЕКО	СНО	Гранулометрический Состав					
				Ca ²⁺	Mg ²⁺				>0,05	0,05–0,001	<0,001			
	H ₂ O	KCl		смоль(экв)/кг почвы					%					
	Криометаморфическая грубогумусная, Р. 3Е													
AYao (0–5/6)	6,5	6,5	23,85*	30,0	1,3	35,9	67,2	46,5	44,7	53,7	9,6			
AY (5–9)	6,0	5,3	6,33	19,0	7,0	3,82	29,8	87,2	49,5	47,8	13,7			
AYe (9–14)	6,0	4,7	1,59	10,2	4,4	2,62	17,2	84,8	45,1	44,3	18,3			
CRMi (14–32)	6,1	4,5	0,81	11,3	8,8	2,11	22,1	90,5	48,2	43,3	18,2			
CRM (32–53)	6,2	4,5	0,83	13,1	8,8	2,16	24,0	91,0	50,8	38,3	20,9			
BCrm (53–108)	6,2	4,5	0,84	12,1	8,5	2,16	22,8	90,5	44,7	53,7	9,6			
Литозем серогумусовый, Р. 4Хор														
AY (2–8)	7,0	6,6	4,05	15,6	3,1	3,31	22,0	85,0	52,6	44,6	2,8			
Chf (8–16)	6,1	5,8	2,09	12,2	3,0	2,87	17,4	87,4	46,7	49,1	4,2			
C (16–22)	5,9	5,4	1,43	8,3	2,3	1,95	12,5	84,8	53,7	42,7	3,6			
Литозем криогумусовый, Р. 5Хор														
AK (0–14)	7,3	–	4,60	24,0	10,0	–	34,0	0,2**	47,0	51,4	1,6			
AC (14–20/22)	7,2	–	3,69	24,2	9,1	–	33,3	0,3**	43,5	55	1,4			

* – органическое вещество; ** – CO₂ карбонатов

Данные валового химического состава (табл. 2) показывают, что дериваты эффузивов кембрия имеют кислый состав.

В процессе почвообразования из верхней части профиля выносятся Fe, Al и Mg, биогенно накапливаются Mn, Ti, Ca, Na, P. Продукты выветривания гранитоидов под литоземом серогумусовым, имеют кислый состав. В связи с семиаридностью климата в верхней части профиля происходит аккумуляция Ca, Mg, Mn, Ti, K, P, Fe и Al. Почва на продуктах выветривания базальтов демонстрирует более высокое содержание Fe, Al, Ca, Mg, Mn и Ti в горизонтах профиля. Выносу веществ за пределы почвенного профиля препятствуют аридность и континентальность климата.

Таблица 2

Валовой химический состав почв (% на прокаленную бескарбонатную навеску)

Горизонт, глубина, см	ППП	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Криометаморфическая грубогумусная, Р. 3Е											
АУ _{ао} (0–5/6)	24,84	69,32	14,77	4,78	0,51	0,90	2,01	1,00	3,78	2,18	0,31
АУ (5–9)	16,09	70,55	14,66	4,48	0,42	0,89	1,56	0,92	3,92	2,30	0,24
АУ _е (9–14)	6,07	71,65	14,80	4,46	0,12	0,90	1,08	0,85	3,82	2,37	0,17
С _{RMi} (14–32)	5,82	69,76	15,82	5,49	0,10	0,83	0,97	1,06	3,82	2,10	0,12
С _{RM} (32–53)	5,93	68,46	16,16	5,85	0,22	0,87	1,02	1,12	3,83	2,14	0,12
В _{Ссrm} (53–108)	5,99	68,50	16,17	6,03	0,21	0,87	1,01	1,12	3,84	2,16	0,12
Литозем серогумусовый, Р.4Хор											
АУ (2–8)	7,50	62,38	17,08	7,03	0,26	0,93	2,55	1,59	3,75	4,03	0,22
С _{hf} (8–16)	5,20	63,58	17,06	,96	0,15	0,90	2,19	1,44	3,71	4,16	0,15
С (16–22)	3,16	66,91	16,11	5,28	0,06	0,64	1,64	0,90	4,02	4,29	<0,10
Литозем криогумусовый, Р.5Хор											
АК (0–14)	9,91	48,63	17,06	14,41	0,23	3,16	6,76	2,98	2,67	3,11	1,66
АС (14–20/22)	9,64	47,00	17,39	15,27	0,25	3,20	7,08	3,18	2,56	3,13	1,73

Выводы

1. В почвах семиаридных и аридных условий почвообразование и выветривание приводят к накоплению пылеватых и мелкопесчаных фракций и весьма слабому оглиниванию.

2. На элювии основных метаэффузивов кембрия в условиях глубокого протаивания мерзлоты формируются криометаморфические грубогумусированные оподзоленные почвы.

3. На элювии раннепалеозойских биотитовых гранитов и сиенитов в семиаридных с длительным сезонным промерзанием условиях формируются литоземы серогумусовые.

4. На элювии основных пород юрского периода в аридных условиях формируются литоземы криогумусовые.

Литература

- Куликов А.И., Дугаров В.И., Корсунов В.М. Мерзлотные почвы: экология, теплоэнергетика и прогноз продуктивности. Улан-Удэ, 1997. 312 с.
- Геологическая карта Бурятской АССР масштаба 1 : 200 000. Объяснительная записка. Л.: Ленкартфабрика, 1966. 150 с.
- Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. 2008. 182 с.

4. Савич В.И. [и др.] Влияние промораживания и криогенеза на свойства почв // Вестник РГАТУ. 2020. № 1 (45). С. 52–56.

5. Белоусова Н.И. Внутрипочвенное выветривание основных пород в гумидных полярно-бореальных условиях // Почвообразовательные процессы. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. С. 91–141.

УДК 550.461

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-21

Сезонная динамика состава речных вод среднего течения реки Обь и ее малых притоков

И.В. Крицков^{1*}, О.С. Покровский^{1,2}, С.Н. Воробьев¹

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

² *Междисциплинарная исследовательская лаборатория в области наук о Земле и окружающей среде, Тулуза, Франция*

** krickov_ivan@mail.ru*

Аннотация. Уникальность Западной Сибири, проявляемая в высокой степени заболоченности ландшафтов, определяет особенности состава речного стока, которые выражаются в высоких концентрациях органического углерода, N, P, Mn, Fe как во взвешенном, так и в растворенном стоке. В статье рассматривается сезонная динамика состава речных вод среднего течения р. Обь и ее малых притоков. Показана сезонная динамика распределения элементов между различными фракциями миграции, включающих взвешенную, коллоидную и растворенную формы.

Ключевые слова: элементный состав речных вод, речная миграция, коллоиды, фракции речных вод, Западная Сибирь

Seasonal dynamics of the composition of river waters of the middle reach of the Ob river and its small tributaries

I.V. Kritskov^{1*}, O.S. Pokrovsky^{1,2}, S.N. Vorobyov¹

¹ *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

² *Geosciences Environment Toulouse (GET), Toulouse, France*

** krickov_ivan@mail.ru*

Summary. The paper describes the compositional features and seasonal dynamics of river water in the middle reaches of the Ob River and its small tributaries. It is shown that the composition of the water in small rivers differs significantly from that of the Ob, indicating a shift in the main source of nutrients. It has been established that small rivers contain a higher proportion of colloidal sedimentation of elements associated with organic material. Seasonal dynamics of lithogenous elements are more prominent in a larger river.

Keywords: elemental composition of river waters, river migration, colloids, fractions of river waters, Western Siberia

Почвенный покров непрерывно участвует в процессах обмена и превращения энергии и вещества, поэтому определяет многие свойства и явления, происходящие в гидросфере, литосфере, биосфере. Первым звеном формирования водного стока являются почвы, которые регулируют его состав и объемы. Так, часть атмосферных осадков, попадая на поверхность почв, вовлекается в латеральный сток, другая часть дренируется в почвенную толщу, где в процессе почвообразования обеспечивается продуктами выноса из почвенного профиля, что в конечном итоге определяет состав речного стока, при этом наиболее близкими по составу к почвенным растворам оказываются малые реки, являющиеся первым звеном речной миграции. Важность этих объектов связана с активной трансформацией состава стока во время миграции именно на начальном этапе, когда почвенные, грунтовые и болотные воды поступают в речную сеть и трансформируются под влиянием смены окислительно-восстановительных условий, фото- и биodeградации, сорбции и осаждения на механических частицах и т.д.

Слабая изученность малых рек в первую очередь связана с логистическими проблемами, которые препятствуют регулярному отбору проб в течение года. Это особенно актуально для обширных сибирских территорий, где большинство исследований было ориентировано на сезон открытой воды без учета зимней межени [4, 5]. Целью данного исследования является выявление сезонных и межгодовых трендов миграции различных фракций речных вод на примере среднего течения реки Обь и ее малых притоков Андреева и Рыбная.

Среднее течение реки Обь относится к южно-таежной подзоне Западной Сибири. В точке отбора река Обь имеет водосбор площадью 260 000 км². Почвы в пределах поймы преимущественно аллювиальные серогумусовые, более обводненные местоположения поймы представлены торфяными почвами. В качестве малых притоков были выбраны две малые реки, расположенные примерно в 10 км выше по течению от основной точки отбора проб главного русла. Исток малых рек приурочен к верховым торфяным болотным массивам. Река Андреева имеет водосбор 257 км² и среднегодовой расход 2,3 м³/с. Река Рыбная – $S_{\text{водосбора}} = 98 \text{ км}^2$; среднегодовой расход 2,0 м³/с. Отбор проб воды был осуществлён в период с мая 2016 г. по сентябрь 2019 г, в результате было отобрано около 320 проб из средней части реки Обь и средних частей рек Андреева и Рыбная.

Сезонная динамика состава речного стока в огромной мере зависит от расхода воды, который, в свою очередь, зависит от гидрологической фазы, интенсивности выпадения осадков, особенностей грунтового стока и т.д. Изучение влияния расхода воды на концентрации элементов в растворенной фракции (менее 0,45 мкм) позволило выделить 3 основные группы элементов. Первая группа представлена высокомолекулярными элементами,

включающими растворенный неорганический углерод (РНУ), анионы, щелочные и щелочно-земельные элементы, а также В, Ge, As, Мо, U. Вторая группа представлена элементами, концентрация которых наиболее высокая в период половодья и демонстрирующими значимые корреляционные связи с расходом воды, среди них: растворенный органический углерод (РОУ), Al, Ti, Fe, Nb, Y, Zr, Hf, Th. 3-я группа элементов не показывала определенной закономерности от расхода воды и сезона, среди них: P, Ni, Rb, Cd, Cs, W, Tl, Pb.

Основное различие в среднегодовой концентрации элементов, переносимых Обью и ее притоками, заключается в значительном превышении в притоках в 2–4 раза концентрации РОУ, P, Si и в 10–40 раз Fe, Mn, Co по сравнению с Обью. Напротив, растворенная фракция р. Обь в большей мере обеспечена РНУ, Na, Mg, Ca, K, Cl, SO₄, Sr, V, Mo, Sb, W.

В целом среднегодовые концентрации большинства элементов в растворенной фракции среднего течения Оби и ее притоков соответствуют оценкам, полученным для арктических рек: Северная Двина, Печера, Таз [1, 2, 6], основные отличия заключаются в обогащении рек среднего течения Оби Fe, Mn, Cr, U, что может являться следствием влияния особенностей водосбора и литологии пород. Более высокие концентрации растворенных форм Fe, Mn, Co в притоках по сравнению с Обью демонстрируют усиленную мобилизацию этих элементов из грунтовых и болотных вод в восстановительных условиях, что особенно выражено в период зимней межени, когда болотные массивы за счет внутриводосборного стока способны осуществлять значительные поставки растворенных форм этих элементов в реки.

Для малых рек в миграции большинства элементов, особенно связанных с органическим веществом, характерно более высокая доля коллоидных форм миграции по сравнению с Обью. Сезонная динамика содержания коллоидной фракции элементов, чувствительных к смене окислительно-восстановительных условий (Fe, Mn), а также тех, которые поступают преимущественно за счет грунтового стока (щелочные и щелочноземельные элементы), более выражена в р. Обь, в то время содержание коллоидной формы этих элементов в малых реках в течении года оставалось более стабильным.

С точки зрения преобладающей формы миграции было выделено три группы элементов: 1) щелочные и щелочноземельные элементы, анионы, а также РНУ, Мо и U, которые преимущественно мигрируют в виде растворов (менее 20% коллоидов); 2) группа элементов, мигрирующая в виде коллоидов (20–60%): РОУ, V, Ti, Mn, Co, As, V, Мо; 3) группа элементов, преимущественно мигрирующая в виде коллоидов (более 60%), она включает трех- и четырехвалентные гидролизаты, а также Be, Cr, Cu, Zn, Ni, Cd, P, W.

Доминирование органических и органоминеральных коллоидов в бореальных и субарктических водах является общепризнанной особенностью [7, 8]. Это исследование добавляет новое измерение к знаниям о коллоидном видообразовании ОУ и металлов в разные сезоны в бореальных реках. Как показало настоящее, а также наше предыдущее исследование, проведенное на

малых реках вечной мерзлоты Западной Сибири [6], доля истинно-растворенного ОУ увеличивалась в порядке весна<осень<лето.

Малые бореальные реки, дренирующие нетронутые водно-болотные угодья, являются важным и плохо количественно оцененным объектом, осуществляющим миграцию от почв к средним и крупным рекам. Важнейшим фактом является то, что до 40% стока пресной воды осуществляется малыми реками, которые демонстрируют в 5–20 раз более высокие показатели концентрации Fe, Mn, Cr и P по сравнению с крупными и средними реками во все сезоны. В то же время перенос щелочных и щелочноземельных металлов, а также Mo, W, U в малых реках значительно снижен.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00281.

Литература

1. Chupakov A.V. [et al.] High resolution multi-annual riverine fluxes of organic carbon, nutrient and trace element from the largest European Arctic river, Severnaya Dvina // Chem. Geol. 2020. Vol. 538. Art. num. 119491.
2. Chupakov A.V. [et al.] Export of organic carbon, nutrient and metals by the medium-size Pechora River to the Arctic Ocean // Chem. Geol. 2023. Vol. 632. Art. num. 121524. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2023.121524>
3. Gordeev V.V. [et al.] Dissolved major and trace elements in the largest Eurasian Arctic Rivers: ob, Yenisey, Lena, and Kolyma // Water. 2024. Vol. 16. Art. num. 316. doi: <https://doi.org/10.3390/w16020316>.
4. Pokrovsky O.S. [et al.] Element transport in the Taz River, western Siberia // Chem. Geol. 2022. Vol. 614. Art. num. 121180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.121180>
5. Stolpmann L. [et al.] Origin and pathways of dissolved organic carbon in a small catchment in the Lena River Delta // Front. Earth Sci. 2022. Vol. 9. Art. num. 759085. doi: <https://doi.org/10.3389/feart.2021.759085>
6. Pokrovsky O.S. [et al.] Hydrochemistry of medium-size pristine rivers in boreal and subarctic zone: disentangling effect of landscape parameters across a permafrost, climate and vegetation gradient // Water. 2022. Vol. 14. Art. num. 2250. doi: <https://doi.org/10.3390/w14142250>
7. Lyv'en B. [et al.] Competition between iron- and carbon-based colloidal carriers for trace metals in a freshwater assessed using flow field-flow fractionation coupled to ICPMS // Geochim. Cosmochim. Acta. 2003. № 67. P. 3791–3802.
8. Stolpe B., Guo L., Shiller A. Binding and transport of rare earth elements by organic and iron-rich nanocolloids in Alaskan rivers, as revealed by field-flow fractionation and ICP-MS // Geochim. Cosmochim. Acta. 2013. № 106. P. 446–462.

**Влияние почвенных условий на биологическую
продуктивность леймусовых сообществ
(*Leymus Chinensis* (Trin.) Tzvel.) Забайкалья**

**И.Н. Лаврентьева*, Л.Н. Болонева, М.Г. Меркушева,
Н.К. Бадмаева**

*Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
Улан-Удэ, Россия*

** lira1973@mail.ru*

Аннотация. Исследованы сообщества с участием *L. chinensis* в Забайкалье с целью выявления взаимосвязи между биологической продуктивностью и почвенными характеристиками. По данным надземной и подземной продукции выполнена кластеризация методом РАМ, показавшая разделение сообществ на два устойчивых кластера. Применение классических статистических методов не выявило значимых различий почвенных параметров между кластерами, однако анализ методом Random Forest показал ведущую роль подвижных форм калия и содержания гумуса в дифференциации сообществ. Установлено, что ключевые факторы, определяющие продуктивность леймусовых сообществ, действуют через сложные нелинейные взаимодействия, что объясняет расхождения результатов разных аналитических подходов.

Ключевые слова: *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev, продуктивность, кластерный анализ, почвенные факторы, Random Forest, Забайкалье.

**The influence of soil conditions on the biological productivity
of leymus communities (*Leymus Chinensis* (Trin.) Tzvel.)
in Transbaikalia**

I.N. Lavrentieva*, L.N. Boloneva, M.G. Merkusheva, N.K. Badmaeva

*Institute of General and Experimental Biology,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, Russian Federation*

** lira1973@mail.ru*

Summary. Communities with the participation of *L. chinensis* in Transbaikalia were studied in order to identify the relationship between biological productivity and soil characteristics. According to the above-ground and underground products, clusterization using the PAM method was performed, which showed the division of communities into two stable clusters. The use of classical statistical methods did not reveal significant differences in soil parameters between clusters, however, analysis by Random Forest showed the leading role of mobile forms of potassium and humus content in the differentiation of communities. It has been established that the key factors determining the productivity of

Leimus communities act through complex nonlinear interactions, which explains the discrepancies in the results of different analytical approaches.

Keywords: *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev, productivity, cluster analysis, soil factors, *Random Forest*, Transbaikalia.

Leymus chinensis (Trin.) Tzvelev – ценное многолетнее кормовое растение, обладающее как сенокосными, так и нажировочными пастбищными свойствами. Вид широко распространён в степных и лесостепных зонах Западного и Восточного Забайкалья, Монголии и Северного Китая, отличается высокой кормовой продуктивностью, устойчивостью к засухе и продолжительным периодом поедаемости сельскохозяйственными животными, что определяет его ключевую роль в устойчивости и функционировании природных кормовых экосистем региона. Учитывая хозяйственное значение вида, особую актуальность приобретает изучение почвенных условий его произрастания и их влияния на продукционные характеристики фитоценозов.

Цель работы – установить взаимосвязь между показателями плодородия почв и биологической продуктивностью леймусовых сообществ в различных природных условиях Забайкалья.

Для изучения экосистем с *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev. было выделено 13 ключевых участков, в том числе восемь в Западном Забайкалье (Иволгинский, Селенгинский, Кабанский, Хоринский, Заиграевский административные районы, городской округ г. УланУдэ) и пять в Восточном Забайкалье (Оловянининский, Агинский, Дульдургинский административные районы). На каждом ключевом участке закладывался почвенный разрез, прикопки, отбирались почвенные образцы и определялись зеленые фитомассы леймуса (1Gmax) и других видов сообщества (2Gmax), подземная фитомасса (B + V), ветошь (D), войлок (L). Надземную фитомассу оценивали укосным методом. Травостой срезали у самой поверхности почвы с площадок 50 × 50 см в пятикратной повторности. Запасы подземной фитомассы изучали методом монолитов с последующей отмывкой на почвенных ситах. В каждом сообществе почвенные монолиты отбирали с трех площадок размером 25 × 25 см послойно через 10 см до глубины 20 см. Надземную фитомассу и отмытые корни высушивали до воздушно-сухого состояния и взвешивали.

Чистую первичную продукцию (NPP), надземную (ANP) и подземную (BNP) продукции вычисляли по следующим формулам: 1) $ANP = 1,108 \cdot (1G_{max} + 2G_{max}) + 0,53 \cdot (D + L)$; 2) $BNP = -0,103 + 0,467 \cdot (B + V)$; 3) $NPP = ANP + BNP$ [1].

Во всех изученных сообществах наблюдается абсолютное доминирование леймуса: удельное проективное покрытие составляет 46–89%, а доля зелёной фитомассы достигает 49–100% от общей фитомассы. По градации Р. Уиттекера (1980), биологическая продуктивность сообществ оценивается как средне-высокая. Надземная продукция варьирует в пределах 79–621 г/м² (Me = 198 г/м², MAD = 79 г/м²). Подземная продукция демонстрирует более широкий разброс: 346–1857 г/м² (M = 979 г/м², SD = 354 г/м²).

С целью выявления групп леймусовых сообществ, сходных по продуктивности, была проведена кластеризация методом Partitioning Around Medoids (РАМ) с использованием функций пакета cluster в среде R. Данный метод, являясь робастной альтернативой алгоритму k-средних, устойчив к выбросам и не требует предположений о сферичности кластеров. В качестве исходных переменных использовались количественные показатели надземной и подземной продукции. Предварительная обработка данных включала агрегирование по сообществам ($n = 13$), стандартизацию показателей и снижение размерности методом главных компонент (РСА). Анализ главных компонент показал, что первые две компоненты кумулируют 93,6% общей дисперсии, что свидетельствует о достаточной информативности полученного двумерного представления данных. Непосредственно кластеризация выполнялась в пространстве первых двух главных компонент.

Оценка качества кластеризации проводилась с использованием силуэтного анализа. Оптимальное число кластеров было определено как $k = 2$ на основании максимального среднего значения силуэтного коэффициента (0,53), что соответствует удовлетворительному уровню разделимости кластеров. Важно отметить, что попытки увеличения числа кластеров ($k = 3$ и $k = 4$) приводили к снижению среднего значения силуэтного коэффициента и появлению объектов с отрицательными значениями, что указывает на снижение устойчивости кластерной структуры и ухудшение качества классификации.

Результаты кластерного анализа выявили различия между выделенными группами сообществ по показателям продуктивности. Первый кластер характеризуется умеренными значениями надземной продукции (АНР) с межквартильным размахом (IQR) 123–176 г/м² и относительно низкими показателями подземной продукции (BNP, IQR = 633–967 г/м²). Во втором кластере наблюдаются сопоставимые значения АНР (IQR = 311–388 г/м²), однако BNP существенно выше (IQR = 1097–1341 г/м²). Проведённый дисперсионный анализ (ANOVA) подтвердил статистически значимые различия между кластерами по обоим параметрам. Наиболее выраженными оказались различия по уровню подземной фитомассы ($F = 39,45$; $p < 0,001$), тогда как различия по надземной продукции, хотя и достоверные ($F = 14,87$; $p = 0,0027$), были менее контрастными.

Таким образом, основное разграничение между кластерами определяется показателями подземной продукции, что, вероятно, отражает различные стратегии распределения биомассы у *L. chinensis* в ответ на варьирующие эдафические условия среды.

Изученные леймусовые сообщества произрастают на следующих типах почв: аллювиальная слоистая гумусовая, литозем светлогумусовый, светлогумусовая, темnogумусовая, каштановая, солончак квазиглееватый, аллювиальная светлогумусовая, аллювиальная темnogумусовая. Диапазон варьирования некоторых их свойств (слой 0–20 см, в пределах которого сосредоточена основная масса корней) довольно широкий. Гранулометрический состав изменяется от супесчаного до легкоголинистого, содержание гумуса – от очень

малого до ниже среднего, реакция среды – от нейтральной до сильнощелочной, ЕКО – от очень низкой до средней, степень солонцеватости – от несолонцеватых до слабосолонцеватых, содержание подвижного фосфора – от низкого до очень высокого, обменного калия – от очень низкого до высокого, степень засоления – от незасоленных до сильно засоленных, содержание карбонатов – от некарбонатных до среднекарбонатных.

Для выявления почвенных факторов, обуславливающих различия между выделенными кластерами сообществ, был проведён сравнительный анализ свойств почв по классическим статистическим критериям (однофакторный дисперсионный анализ, непараметрический тест Краска–Уоллиса). Большинство показателей, включая содержание физической глины, гумуса, общего азота, рН, емкость катионного обмена, обменный натрий, карбонаты, а также подвижные формы фосфора и калия, не продемонстрировали статистически значимых различий между кластерами ($p > 0,05$). При этом показатели содержания гумуса ($p = 0,069$) и подвижных форм калия ($p = 0,079$) показали тенденцию к различиям, что может свидетельствовать о потенциальной роли этих факторов, требующей дальнейшего подтверждения при расширении выборки.

В то же время, анализ с использованием модели Random Forest позволил выявить иную картину. Метод машинного обучения продемонстрировал, что наибольший вклад в разделение фитоценозов на кластеры вносят подвижные формы калия и содержание гумуса, что подтверждается наивысшими значениями метрик важности (%IncMSE = 4,04 и 3,12 соответственно). Также значимыми предикторами оказались содержание карбонатов и емкость катионного обмена. Эти различия в результатах объясняются тем, что Random Forest чувствителен к комплексным нелинейным связям между переменными и позволяет учитывать их взаимодействия, в то время как классические методы тестируют лишь прямые эффекты по отдельности и чувствительны к размеру выборки.

Таким образом, хотя классические статистические методы не выявили достоверных различий в почвенных характеристиках между кластерами, результаты модели Random Forest указывают на потенциально важную роль калийного питания и содержания органического вещества в формировании структурных различий сообществ. Полученные данные позволяют предположить, что разделение кластеров фитоценозов, помимо отражения продуктивности, может быть связано с комплексным действием ряда почвенных свойств, чье влияние требует дальнейшего изучения на расширенной выборке.

Литература

1. Продуктивность травяных экосистем: справочник / сост. А.А. Титлянова, С.В. Шибарева; Почвенный институт имени В.В. Докучаева; Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. М.: ООО «Издательство МБА», 2020. 100 с.

Разнообразие техногенных почв на участках изливов кислых шахтных вод в угледобывающем районе Предуралья

Н.В. Митракова

*Пермский государственный национальный исследовательский
университет, Пермь, Россия
mitrakovanatalya@mail.ru*

Аннотация. В работе представлены основные особенности формирования техногенных почв при воздействии кислых шахтных вод на территории Кизеловского угольного бассейна в Пермском крае. Источниками кислых шахтных вод являются как затопленные шахты, так и породные отвалы. Техногенные почвы характеризуются очень кислой реакцией, высоким содержанием соединений серы и железа по сравнению с фоновыми почвами. Особенностью кислых почв является наличие техногенного горизонта, в основном состоящем из гётита или угольной пыли, а также наличия в профиле ярозита.

Ключевые слова: кислые шахтные воды, излив, техногенно-трансформированная почва, химически-преобразованная почва, литострат

Diversity of technogenic soils in areas of acid mine water outflows in the coal mining region of the Cis-Urals

N.V. Mitrakova

*Perm State National Research University, Perm, Russian Federation
mitrakovanatalya@mail.ru*

Summary. The paper presents the main features of the formation of technogenic soils under the influence of acidic mine waters in the Kizel coal basin in the Perm region. The sources of acidic mine waters are both flooded mines and rock dumps. Technogenic soils are characterized by a very acidic reaction, a high content of sulfur and iron compounds compared to background soils. A feature of acidic soils is the presence of a technogenic horizon, mainly consisting of goethite or coal dust, as well as the presence of jarosite in the profile.

Keywords: acid mine water, outflow, technogenically transformed soil, chemically transformed soil, lithostrat

Недропользование, в частности угольная добыча, приводит к значимым изменениям окружающей среды. В большинстве случаев особенностью горнодобывающих районов и прилегающих к ним территорий является загрязнение почв тяжелыми металлами и микроэлементами [1]. Однако при некото-

рых особенностях месторождений, а именно наличия сульфидов в руде, возникает такая серьезная проблема, как образование кислых шахтных вод (КШВ) [2]. КШВ представляют собой высокоминерализованные воды с крайне низким pH (2,0–3,0), которые оказывают негативное воздействие на компоненты экосистемы.

Целью исследования является изучение долговременного влияния кислых шахтных вод на свойства почв на территории Кизеловского угольного бассейна. Задачи исследования: рассмотрение разнообразия типов техногенных почв, выявление общих признаков их формирования.

Кизеловский угольный бассейн расположен в восточной части Пермского края, месторождение протягивается на 150 км в виде полосы шириной от 5 до 20 км вдоль западного склона Уральских гор, имеет площадь 1500 км². Добыча угля велась подземным способом с конца 18 века, в начале 2000-х гг. добыча прекратилась, шахты были ликвидированы. Особенностью углей данного месторождения является высокое содержание серы в углях (около 6,5%), в частности пиритной [3].

В связи с высоким содержанием пирита в углях и проникновением в шахты трещинно-карстовых вод на территории КУБа образуется большой объем кислых шахтных вод, выходящих на дневную поверхность через штольни и родники. Другим источником КШВ являются отвалы вскрышных пород. Кислые шахтные воды образуются за счет окисления сульфидов железа при участии кислорода и воды [4]. Длительное насыщение почв высокоминерализованными кислыми водами приводит к трансформации фоновых почв в кислые сульфатные почвы техногенных ландшафтов.

Объекты исследования – техногенные кислые почвы, образованные при долговременном воздействии кислых шахтных вод на участках их самоизливов или стоков с породных отвалов.

В почвах определены pH водный и солевой потенциометрическим методом; определение кислотности почв с использованием перекиси водорода проводили для окисления сульфидных минералов (предел для кислых сульфатных почв составляет 2,5 после обработки перекисью). Содержание общего органического углерода определено по И.В. Тюрину с фотометрическим окончанием без разделения органического углерода по природе образования. Содержание подвижного железа определяли спектрофотометрически по реакции с о-фенантролином; сульфат-ионы определяли в водной вытяжке почвы турбидиметрическим методом, а подвижную серу – после извлечения сульфат-ионов 1 М раствором KCl (в солевой вытяжке). Для определения валовой серы проводили кислотное разложение навески почвы смесью хлорной и азотной кислот. Рентгенофазовый анализ образцов проводили на рентгеновском порошковом дифрактометре D2 Phaser («Bruker», Германия) с излучением CuK α ($\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$), генератором с напряжением 30 кВ и силой тока 10 мА и линейным детектором LYNXEYE. Для статистического анализа использовали программное обеспечение STATISTICA 7 (Statsoft, США), MS Excel (Microsoft, США) и Past 4.03.

Фоновыми почвами территории исследования являются дерново-подзолистые и серогумусовые глинистые. Фоновые почвы при воздействии кислых шахтных вод претерпевают морфологические изменения. Часто в результате воздействия кислых шахтных вод образуется техногенный слой, состоящий из гидроксидов железа; слои из наносов угольной пыли образуются в результате смыва углистых частиц с отвала; глинистые слои на почвах участков стока КШВ с отвалов образуются в результате наносов с отвалов после их рекультивации, заключающейся в покрытии их глинистым материалом. Трансформация профиля также выражается в изменении окраски горизонтов и гранулометрического состава.

Химические характеристики значительно отличаются от фоновых почв территории. Исследованные почвы имеют очень кислую реакцию (2,3–3,6), рН с перекисью водорода менее 2,5. Содержание соединений серы и железа превышает фоновый уровень в десятки и сотни раз. Так, количество сульфатов в кислых почвах КУБа варьирует от 2,5 до 12,7 ммоль/100 г, при этом фоновый уровень составляет 0,1–1,3 ммоль/100 г. Содержание подвижной серы составляет в кислых почвах от 89 до 2 080 мг/кг, серы валовой – 877–28 600 мг/кг, при этом фоновый уровень для подвижной серы варьирует от 0,47 до 46 мг/кг, серы валовой от 147 до 850 мг/кг. Количество подвижного и валового железа в кислых почвах высокое. Содержание подвижного железа в кислых почвах варьирует от 460 до 13 000 мг/кг, валового железа от 20 до 395 г/кг. При этом фоновый уровень подвижного железа достигает величин 70–430 мг/кг, валового железа от 23,9 до 27 г/кг. Максимальное количество соединений серы и железа характерно для техногенных горизонтов почв.

Следует отметить роль продолжительности поступления КШВ на процессы формирования почв. На участках самоизливов из скважин, родников и штолен кислые шахтные воды поступают на поверхность почвы постоянно и обеспечивают изменение минералогического состава почв и гидрологических свойств. Породные отвалы являются периодическими источниками КШВ: после снеготаяния, затяжных дождей. На участках стока с отвалов минералогический состав почв меняется реже. При более интенсивном воздействии КШВ в профиле кислых почв образуются вторичные минералы, такие как ярозит. В техногенных горизонтах высокая доля содержания гётита.

В связи с наличием как морфологических, так и химических изменений фоновых почв при воздействии КШВ, при систематике почв была использована классификация, применяемая М.А. Герасимовой с соавторами для почв горнодобывающих территорий [5].

Так, на участке самоизлива КШВ из скважины и процессов окисления на поверхности фоновой серогумусовой почвы образовался слой техногенных наносов, в основном состоящий из гидроксидов железа, образована серогумусовая техногенно-трансформированная оглеенная почва. Процессы оглеения связаны с обводненностью участка излива.

Серогумусовая химически-преобразованная почва диагностирована на участке стока кислых шахтных вод с породного отвала, при этом профиль

исходной почвы сохранен, но обнаружены изменения химических и физических свойств.

Дерново-подзолистая погребенная под техногенным слоем почва исследована на участке сброса КШВ во время работы шахты. Тогда откачиваемые воды из шахты, содержащие дресву, песок и тонкодисперсные гидроксиды железа, нейтрализовались известью и сливались на поверхность природной почвы.

Технозем образован в результате рекультивации дерново-подзолистой погребенной под техногенным слоем почвы с использованием отходов содового производства и активного ила с очистных сооружений близлежащего химического предприятия.

Литострат оглеенный, представленный чередующимися слоями глинистого и песчаного материала, исследован на участке стока КШВ с одного из отвалов. Литострат образован в результате формирования основания отвала при создании канавы для отведения подотвальных вод.

Таким образом, разнообразие почв на участках стоков и разливах кислых шахтных вод на территории Кизеловского угольного бассейна, связано с периодом воздействия КШВ, положением в рельефе, наличием наносов и свойств исходной почвы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00324, <https://rscf.ru/project/24-27-00324/>.

Литература

1. Abliz A., Shi Q., Keyimu M., Sawut R. Spatial distribution, source, and risk assessment of soil toxic metals in the coal-mining region of northwestern China // Arab J Geosci. 2018. №11, 793. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4152-8>
2. Nordstrom K.D., Blowes D.W., Ptacek C.J. Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: An update // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 57. P. 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.02.008>
3. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. 288 с.
4. Jiao Y. [et al.] A review of acid mine drainage: formation mechanism, treatment technology, typical engineering cases and resource utilization // Process Saf. Environ. Prot. 2023. 170. P. 1240–1260. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.12.083>
5. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М.И. Герасимова [и др.]. Смоленск: Ойкумена. 2023. 268 с.

Сезонная динамика и функциональная активность микробных сообществ аллювиальных почв поймы средней Оби

Э.Г. Никиткина^{1,2*}, И.В. Луцаева^{1,2}, Л.Г. Колесниченко^{2}**

¹ *Сибирский государственный медицинский университет,
Томск, Россия*

² *Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия*

** madderroot@mail.ru*

*** klg77777@mail.ru*

Аннотация. Определена структура микробного сообщества в аллювиальных почвах, прилегающих к пойменным озёрам средней Оби, на основе выявления бактерий различных физиологических групп и оценки их взаимосвязей с сезонными изменениями, физико-химическими показателями почв и между собой. Для пойменных почв и пойменных озёр, к водосборной территории которых относятся эти почвы, оценены и соотнесены друг с другом функциональное разнообразие микроорганизмов и метаболическая активность сообществ в период летней межени.

Ключевые слова: пойменные почвы, микробные сообщества, физиологические группы, метаболическая активность, сезонная динамика, средняя Обь

Seasonal dynamics and functional activity of microbial communities of alluvial soils of the middle Ob floodplain

E.G. Nikitkina^{1,2*}, I.V. Luschaeva^{1,2}, L.G. Kolesnichenko^{2}**

¹ *Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation*

² *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

** madderroot@mail.ru*

*** klg77777@mail.ru*

Summary. The structure of the microbial community in alluvial soils adjacent to floodplain lakes of the Middle Ob has been determined based on identification of bacteria from various physiological groups and assessment of their relationships with seasonal changes, soil physicochemical parameters, and each other. For floodplain soils and floodplain lakes, whose catchment area includes these soils, functional diversity of microorganisms and metabolic activity of communities have been evaluated and correlated during the summer low-water period.

Keywords: floodplain soils, microbial communities, physiological groups, metabolic activity, seasonal dynamics, middle Ob

Пойменные почвы представляют собой динамичные экосистемы, подверженные сезонному воздействию паводкового режима, что существенно влияет на их биологическую активность (в соответствии с концепцией паводкового импульса [1]). Изучение структуры и функциональной активности микробных сообществ в таких условиях является ключевым для понимания процессов трансформации органического вещества и круговорота элементов. Данное исследование было направлено на комплексную оценку сезонной динамики численности различных физиологических групп микроорганизмов, их профильного распределения, метаболического потенциала и взаимосвязей с физико-химическими параметрами в пойменных почвах. Исследования проводились на 5 ключевых участках центральной поймы среднего течения Оби в Кривошеинском районе Томской области, на базе научно-исследовательской станции «Кайбасово» Национального исследовательского Томского государственного университета [2].

Учет активности специализированных групп (амилолитики, аэробные целлюлозолитики, денитрификаторы, аммонификаторы, гумусолитики, олигонитрофилы, олиготрофы, сахаролитические микромицеты, нитрификаторы, анаэробные азотфиксаторы) проводился по стандартным микробиологическим методикам (посев на селективные среды, [3]) в разные сезоны года (лето, осень, зима, весна) на глубине 0–10 и 10–20 см. Оценивали чувствительность различных физиологических к увеличению глубины пробоотбора, сравнивая их распределение по профилю (0–10, 10–30 и 50–70 см) в паводковый период и в период летне-осенней межени. Для каждого образца измеряли коэффициент минерализации [4] и индекс педотрофности [5]. Оценку метаболической активности сообществ осуществляли с помощью метода мультисубстратного тестирования по стандартному протоколу Biolog® Ecoplate™.

В пойменных почвах средняя численность бактерий по всем изученным образцам составила 24,4, 29,2 и 19,7 млн КОЕ/г абс. сух. почвы при учёте на средах ГРМ, КАА и Эшби [3] соответственно, что демонстрирует высокую бактериальную обсеменённость. Во всех исследованных образцах преобладали аммонификаторы, олиготрофы, олигонитрофилы и гумусоразрушающие бактерии. Летом отмечены пики активности амилолитиков, аэробных целлюлозолитиков, денитрификаторов; осенью – для аммонификаторов; зимой – для гумусолитиков и олигонитрофилов; весной отмечено паводковое угнетение биологической активности всех чувствительных к действию сезонного фактора групп бактерий. Коэффициент минерализации/иммобилизации азота имел средние значения в пределах 0,5–1,2; его значения на глубине 0–10 см достигали максимума (1,3) в весеннее время, а при глубине пробоотбора 10–20 см обладали высокой стабильностью в течение года. Средние значения индекса педотрофности варьировали от 0,7 до 1,5, снижение значений индекса педотрофности при изменении глубины пробоотбора наблюдалось осенью.

Наибольшей чувствительностью к увеличению глубины пробоотбора обладали олигонитрофилы, сахаролитические микромицеты и денитрификато-

ры, предпочитая населять поверхностные слои пойменных почв. Выявлены изменения в профилном распределении микроорганизмов в период летне-осенней межени по сравнению с паводковым состоянием водоёмов и увеличение чувствительности к глубине пробоотбора у амилोलитиков, олиготрофов, сахаролитических микромицетов, гумусолитических бактерий, олигонитрофилов и нитрификаторов.

Только две из десяти рассмотренных физиологических групп микроорганизмов откликались (коррелировали по Спирмену, $p < 0,05$) на изменение показателя влажности почвы (аэробные целлюлозолитики ($R_s = -0,26$) и аммонификаторы ($R_s = -0,27$)), две на изменение pH (сахаролитические грибки ($R_s = 0,24$), аммонификаторы ($R_s = 0,23$)).

Изучение результатов мультисубстратного тестирования образцов пойменных почв, отобранных в период летней межени, указывает на наибольшую привлекательность для почвенных микроорганизмов таких субстратов, как D-ксилоза, L-Аспарагин, D-галактуроновая кислота, D-маннит, L-серин, γ -гидроксимасляная кислота, D-галактоновая кислота γ -lactone, метиловый эфир пирувата, L-аргинин. Спектры потребления субстратов микробным сообществом изученных почв были схожи на 96,8%.

Численность представителей олиготрофной части микробоценоза значительно коррелировала (по Спирмену, при $p < 0,05$) с интенсивностью утилизации аминокислот ($R_s = 0,75$), углеводов ($R_s = 0,85$) и полимеров ($R_s = 0,67$), а численность олигонитрофилов коррелировала с утилизацией аминов ($R_s = 0,78$). Также отмечена корреляция ($R_s = 0,80$) численности олиготрофов с употребляемостью азотсодержащего органического вещества в целом. Нельзя судить о том, являются ли эти взаимосвязи непосредственными, однако имеющиеся наблюдения указывают на индикаторную роль олиготрофов, как физиологической группы, способной наиболее полно отражать общую метаболическую активность сообщества.

Схожесть спектров потребления субстратов между исследованными почвами и пойменными озёрами, к водосборной территории которых эти почвы принадлежали, составила 67,7%. Сравнение потребляемости групп субстратов по критерию Манна–Уитни продемонстрировало, что значительно отличалась ($p < 0,05$) утилизация углеводов, фосфатов карбоновых кислот, полимеров и аминов, причём значения интенсивности потребления этих групп субстратов были смещены в сторону микробоценоза воды. Определены наиболее востребованные микробным сообществом почв субстраты (D-ксилоза, L-Аспарагин, D-галактуроновая кислота, D-маннит, L-серин, γ -гидроксимасляная кислота, D-галактоновая кислота γ -lactone, метиловый эфир пирувата, L-аргинин), 4 из которых (D-ксилоза, L-Аспарагин, D-маннит, метиловый эфир пирувата) также входят в число наиболее потребляемых в водоёмах. С помощью дискриминантного анализа отобраны 4 значимых предиктора (потребление α -циклодекстрина, D-лактозы, L-аспарагина, глицил-L-глутаминовой кислоты), характеризующих метаболические отличия микробных сообществ пойменных водоёмов и почв.

Таким образом, данное исследование позволило выявить ключевые закономерности сезонной и вертикальной динамики, а также метаболические особенности микробных сообществ пойменных почв средней Оби. Полученные данные открывают перспективы для разработки методов биоиндикации состояния пойменных ландшафтов и оценки антропогенного воздействия на речные поймы Сибири.

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантом РНФ 23-16-00218: «Углеродный баланс и повышение секвестрационного потенциала сельскохозяйственных угодий поймы средней Оби».

Литература

1. Junk W.J. [et al.] The flood pulse concept in river-floodplain systems // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences: materials of International Large River Symposium. 1989. Vol. 106. P. 110–127.
2. Kolesnichenko L.G. [et al.] Organic matter of floodplain lakes in the middle courses of the Ob River during the winter low-water season and the spring flood // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 400. P. 1–9.
3. Практикум по микробиологии: учеб. пособие / под ред. Н.С. Егорова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 307 с.
4. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и плодородие почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 342 с.
5. Никитин Б.А. Методика определения содержания гумуса в почве // Агрохимия. 1972. № 3. С. 123–125.

УДК 631.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-25

Распространение редких литогенных почв на территории г. Перми

П.Ш. Сайранова*, О.З. Еремченко

*Пермский государственный национальный исследовательский
университет, Пермь, Россия*

** sairanova.p@gmail.com*

Аннотация. Определены свойства и классификационное положение редких литогенных почв природно-рекреационной зоны г. Перми. Выявлены ареалы их распространения на основе залегания в рельефе и состава лесной растительности.

Ключевые слова: редкие почвы, литогенные почвы, псаммоземы гумусовые, дерново-элювоземы, темногумусовые почвы.

Distribution of rare lithogenic soils within the city of Perm

P. Sh. Sairanova*, O.Z. Eremchenko

Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

** sairanova.p@gmail.com*

Summary. The properties and classification position of rare lithogenic soils of the natural and recreational zone of Perm have been determined. Their distribution areas have been identified based on their occurrence in the relief and composition of forest vegetation.

Keywords: rare soils, lithogenic soils, humus psammozems, sod-eluvzems, dark humus soils

Согласно концепции Красной книги почв Г.В. Добровольского и Е.Д. Никитина, почвы, образовавшиеся на редких почвообразующих породах, отнесены к категории редких почв и подлежат особой охране [1]. Генетические различия почв, сформированных в одинаковых биоклиматических условиях, но на разных почвообразующих породах, сохраняются даже на поздних этапах почвообразования. Важная роль в пространственном разнообразии автоморфных почв принадлежит гранулометрическому и минералогическому составу почвообразующих пород.

Природно-рекреационная зона г. Перми расположена на обоих берегах р. Камы, в пределах водоразделов и речных террас. В почвенном покрове среди автоморфных почв доминируют дерново-подзолистые почвы на элювиально-делювиальных суглинках. При определяющем влиянии литогенного фактора в местах выхода на поверхность перигляциального песчаного элювия, двучленных отложений и пермских пород образовались псаммоземы гумусовые, дерново-элювоземы и темногумусовые почвы [2–4].

Постановлением Правительства Пермского края от 27 мая 2022 г. утвержден порядок, меры охраны и перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения почв [5]. В перечень редких почв, подлежащих особой охране и включению в Красную книгу почв Пермского края вошли псаммоземы гумусовые на камских песчаных террасах, дерново-элювоземы на двучленных породах, темногумусовые почвы на глинистом элювии. Основными задачами по охране почв являются сохранение ценного почвенного объекта, своевременное выявление негативных изменений состояния почв, полнота и достоверность информации о состоянии почв, а также предотвращение загрязнения почв.

Реликтовые сосновые боры на древнеаллювиальных песках расположены на I и II надпойменных террасах берегов Камы. В псаммоземах почвенные процессы представлены начальным гумусонакоплением, может проявиться селективное оподзоливание, приводящее к удалению железистых пленок с поверхности песчаных частиц. В переходных горизонтах встречались слабые признаки ожелезнения. Профиль почвы слабо дифференцирован: гумусово-слаборазвитый горизонт залегает непосредственно на песчаной почвообра-

зующей породе. Обобщенная формула профиля: W–C^{...}. В гумусово-слаборазвитом горизонте содержится много полуразложившихся растительных остатков, накопление органического углерода составляет 3–5,5%. У почвы легкий гранулометрический состав (гумусово-слаборазвитый горизонт – супесчаный, порода – мелкозернистый песок), низкая емкость поглощения минеральных горизонтов (2–7 ммоль/100 г), высокая ненасыщенность основаниями (8–27 ммоль/100 г) и сильноокислая реакция среды (pH_{KCl} 3–4,5).

Детальное дешифрирование сосновых лесов на песчаных террасах р. Камы в черте г. Перми позволило определить площадь распространения гумусовых псаммоземов – приблизительно 2 тыс. га. Разнообразие псаммоземов гумусовых представлено на подтиповом уровне: грубогумусированный ожелезненный и грубогумусированный оподзоленный ожелезненный.

Под липово-хвойными лесами на вторых и третьих надпойменных террасах р. Камы верхний нанос легкосуглинистых или супесчаных пород мощностью около 60 см подстилается опесчаненными некарбонатными глинами. В верхней части изученных дерново-элювоземов развито образование серогумусовых аккумуляций и элювиирование; текстурный горизонт отсутствует. Обобщенная формула почвы: AY–EL–Del–D. Почвы характеризовались сильноокислой реакцией среды и слабой насыщенностью основаниями. Кислотность резко снижалась в подстилающей породе. Почвенный профиль в пределах одного метра существенно дифференцирован по содержанию грубодисперсных фракций и илистой фракции гранулометрического состава.

Во всех обнаруженных на верхних террасах р. Камы (190–200 м н.у.м.) дерново-элювоземах диагностированы процессы элювиирования. Они отличались друг от друга мощностью верхнего серогумусового горизонта и гранулометрическим составом темногоумусового горизонта и подстилающей породы.

На южных склонах холмов под липовыми лесами на элювии пермских опесчаненных глин изучены темногумусовые почвы. Растительность первого яруса представлена липой, во II ярусе – рябина, черёмуха и клён; в травянистом ярусе доминирует сныть, осоки, герань лесная. Почвы имеют темногумусовые горизонты мощностью около 13–18 см, обладающие зернистой или комковато-зернистой структурой. Благодаря повышенному содержанию в почвообразующих породах несиликатного железа, а также карбонатов, процесс дифференциации почвенного профиля заторможен. В почве основной горизонтообразующий процесс – это формирование темногумусовых аккумуляций с зернистой структурой. Обобщенная формула почвенного профиля: AU–C(sa). Количество органического вещества в темногумусовом горизонте составляло 6–8%. Гумусированная часть профиля имеет кислую реакцию среды, почвообразующая порода – нейтральную реакцию; содержание обменных оснований высокое. У почв преимущественно тяжелосуглинистый гранулометрический состав, содержание физической глины 40–50%; в отдельных слоях преобладающей фракцией был мелкий песок. Высокое содержание ила (20–40%) придает профилю плотность, связность и повышенную

влагоемкость. Почвообразующие породы сложены глинистыми (тяжелосуглинистыми) слоями с песчаными прослойками и линзами.

Темногумусовые почвы различались по мощности верхнего темногумусового горизонта (вид), по гранулометрическому составу (разновидность и разряд), а также по наличию в профиле карбонатов (подтип). Была исследована типичная темногумусовая почва, краснопрофильная метаморфизированная глинисто-иллювирированная глееватая остаточно-карбонатная и краснопрофильная метаморфизированная глинисто-иллювирированная глееватая.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект FSNF-2025-0011.

Литература

1. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. М.: МИРОС МАИК Наука/Интерпериодика, 2000. 185 с.
2. Еремченко О.З., Москвина Н.В. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Пермь // Почвоведение. 2005. № 7. С. 782–789.
3. Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Редкие и исчезающие почвы Пермского края. Пермь: Арт-Дизайн, 2010. 94 с.
4. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-та, 2016. 252 с.
5. Об утверждении Порядка и мер охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения почв, занесенных в Красную книгу почв Пермского края, перечня редких и находящихся под угрозой исчезновения почв, занесенных в Красную книгу почв Пермского края: Постановление Правительства Пермского края № 447-п (утв. Губернатором Пермского края 27.05.2022).

УДК 551.312.2

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-26

Трансформация температурного режима торфяной залежи на постпирогенных болотах (Западная Сибирь)

А.А. Синюткина

*Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра
агробиотехнологий РАН, Томск, Россия
ankalaeva@yandex.ru*

Аннотация. В статье представлена оценка трансформации температурного режима торфяной залежи в результате пирогенной нагрузки на трех ключевых участках в пределах подзоны южной тайги (Бакcharское и Усть-Бакcharское болота, Томская область) и зоны лесотундры (плоскобугристое болото, ЯНАО). Влияние пирогенного

фактора через 8–10 лет после пожара выражено в увеличении средних и максимальных температур, амплитуды сезонных и суточных колебаний и в большей степени проявляется на плоскобугристом болоте.

Ключевые слова: верховое болото, плоскобугристое болото, лесотундра, южная тайга, природный пожар, гидролесомелиорация

Transformation of the temperature regime of peat deposits in post-pyrogenic mires (Western Siberia)

A.A. Sinyutkina

*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – a branch
of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology RAS,
Tomsk, Russian Federation
ankalaeva@yandex.ru*

Summary. The article presents an assessment of the transformation of the peat deposit temperature regime as a result of wildfires in three key areas within the southern taiga zone (Bakchar and Ust-Bakchar bogs, Tomsk Region) and the forest tundra zone (palsa mire, Yamalo-Nenets Autonomous District). The influence of the pyrogenic factor persists 8–10 years after the fire and is expressed in an increase in average and maximum temperatures, the amplitude of seasonal and daily fluctuations, and is more pronounced in palsa mire.

Keywords: raised moor, plateau-like raised bog, forest-tundra, southern taiga, natural fire, hydroforestry reclamation

Температура торфяной залежи является важным фактором, определяющим условия роста болотных растений, активность микроорганизмов – разрушителей органического вещества, скорость протекания физико-химических процессов. На естественных верховых болотах плотный покров из сфагновых мхов обладает высокой теплоизолирующей способностью и препятствует прогреванию нижележащих слоев торфа. В результате пожаров происходит деградация сфагновых мхов, изменение альбедо поверхности и водно-физических свойств торфа, и как следствие, трансформация температурного режима торфяной залежи, сохраняющаяся в течение многих лет после пожара.

Целью исследования является оценка трансформации температурного режима торфяной залежи в результате пирогенной нагрузки на трех ключевых участках в пределах подзоны южной тайги (Бакcharское и Усть-Бакcharское болота, Томская область) и зоны лесотундры (плоскобугристое болото, ЯНАО). Ключевой участок на Бакcharском верховом болоте (северо-восточный отрог Большого Васюганского болота) включает его осушенную и частично выгоревшую в 2016 г. часть к югу от трассы Томск–Бакchar в бассейне р. Гавриловка. Растительность осушенной части представлена сосново-кустарничково-сфагновым фитоценозом. В результате пожара произошло полное выгорание древесного яруса, частичное кустарничкового и мохового

ярусов и верхнего слоя торфа. Усть-Бакcharское верховое болото в 1980 гг. было осушено для добычи торфа, что привело к значительному снижению уровней болотных вод и стало причиной серии пожаров, в результате которых выгорела практически вся его осушенная часть, а исходная растительность с сосново-кустарничково-сфагновой сменилась на березово-сосновую кустарничковую с разреженным моховым ярусом. В результате последнего крупного пожара в 2014 г. произошло полное выгорание всех растительных ярусов и верхнего слоя торфа. Естественное плоскобугристое болото на междуречье Пура и Надым с кустарничково-лишайниковыми буграми и травяно-сфагновыми мочажинами частично выгорело в результате масштабных пожаров на севере Западной Сибири в 2016 г. [1]. К 2024 г. на постпирогенных площадках всех ключевых участков отмечено полное восстановление кустарничков, зарастание выгоревших поверхностей *Polytrichum strictum* и появление сфагновых мхов, проективное покрытие которыми выше на плоскобугристом и Бакcharском болотах и минимально на Усть-Бакcharском, на таежных болотах появление подростa сосны и березы. Измерение температуры по профилю торфяной залежи проводилось в автоматическом режиме с интервалом 1 час с использованием измерительных систем (разработка ИМКЭС СО РАН [2]) на постпирогенных и не горевших (фоновых) площадках по всей глубине торфяной залежи с шагом по глубине 10 см в верхнем метровом слое и 50 см до дна торфяной залежи (таблица). В работе использовался ряд данных за период с 1 мая 2024 по 30 сентября (2022–2024 гг. на Бакcharском болоте и 2024 г. на Усть-Бакcharском и плоскобугристом болотах) для глубин 10 и 20 см, свойства торфа которых в большей степени подвержены трансформации под влиянием пирогенного фактора.

Характеристика объектов исследования

Ключевой участок	Площадка	Антропогенная нагрузка	Год пожара
Бакcharское болото	Bdry	гидролесомелиорация	–
	BF5		2016
Усть-Бакcharское болото	UB	Осушение для добычи торфа	1999
	UBF1		2014
Плоскобугристое болото	Ppr	Естественное болото	–
	PF1		2016

На Бакcharском болоте температура торфа изменялась в пределах 12,3–13,4 °C на глубине 10 см и 11,1–12,4 °C на глубине 20 см. Температура в этих слоях на постпирогенном участке была выше в 2022 г. и ниже в 2023–2024 гг. не более чем на 1,1 °C относительно фонового. В 2024 г. в сезонной динамике для фонового участка характерно более быстрое прогревание залежи весной и быстрое охлаждение осенью при большем прогревании в середине вегетационного периода (например, максимальные температуры в 2024 г. на глубине 10 см составили 20,6 и 25,2 °C, амплитуда сезонных колебаний 20,8 и 25,4 °C соответственно) в сравнении с постпирогенным участком. На более

сухом Усть-Бакcharском болоте в 2024 г. температура в среднем была ниже в сравнении с Бакcharским на 1 °С на глубине 10 см и 1,5 °С на глубине 20 см. На постпирогенном участке температура за период май–август была выше на 1 °С, в сентябре, наоборот, ниже в сравнении с фоновым. Постпирогенный участок характеризуется большей амплитудой суточных (на глубине 10 см 2,9 и 1,9 °С соответственно) и сезонных (21,7 и 19,4 °С) колебаний температуры (рис. 1–2).

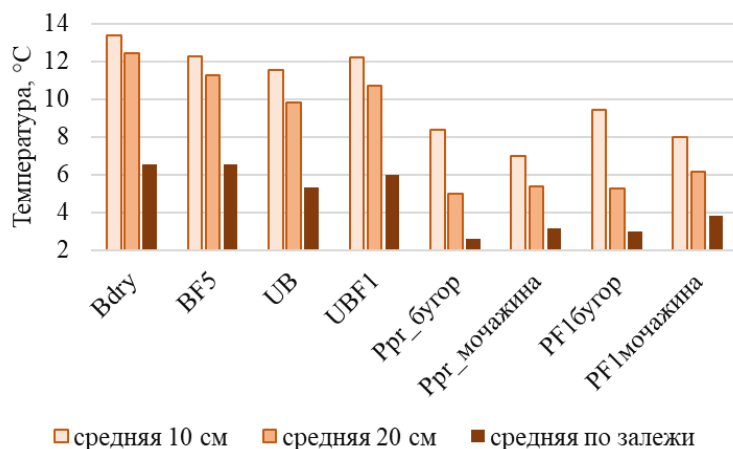


Рис. 1. Средняя температура торфяной залежи за период 01.05.2024–30.09.2024

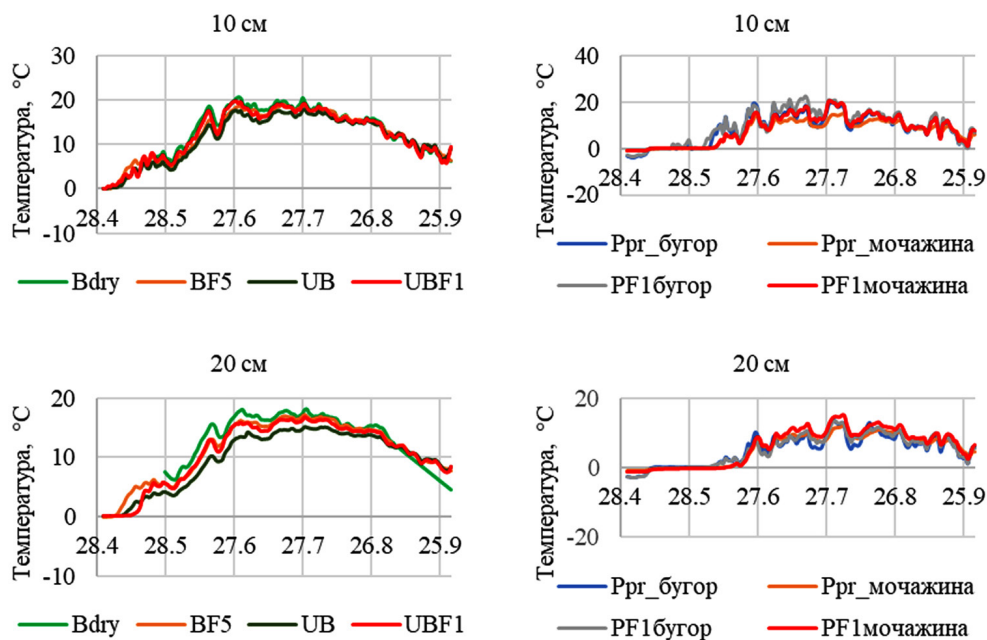


Рис. 2. Сезонная динамика температуры торфяной залежи на глубинах 10 и 20 см

Средняя температура на плоскобугристом болоте на глубине 10 см составила 8,2 °С, на 20 см 5,4 °С. Различия в температурном режиме наблюдаются как между мочажинами и буграми, и так между постпирогенным и фоновым участками, а тенденции отличаются по слоям. Средняя температура за сезон на глубине 10 см на обоих участках в среднем была выше на буграх на 1,4 °С и наоборот ниже на глубине 20 см на 0,4–0,9 °С в сравнении с мочажинами. И на буграх, и в мочажинах температура выше на постпирогенном участке в среднем на 1 °С на глубине 10 см и 0,3–0,7 °С на глубине 20 см. Плоскобугристое болото отличается от болот таежной зоны большими сезонными и суточными амплитудами колебаний температур, в большей степени проявляющихся на бугре постпирогенного участка, где они достигают 47,8 °С за период май–сентябрь, а средняя суточная амплитуда на глубине 10 см составляет 13,4 °С с максимальным значением 36,6 °С, что обусловлено сильным прогреванием участков в сохранившемся открытом горелом слое, не покрытом растительностью. Различия в сезонной и суточной динамике между постпирогенным и фоновым участками в большей степени проявляются в мочажинах, где также сохранился горелый слой. Амплитуда сезонных колебаний в горелой мочажине на глубине 10 см составила 30,7 град., что на 13,4 °С выше в сравнении с естественной, средняя суточная амплитуда составляет 11 °С и 1,62 °С на горелой и естественной соответственно. На глубине 20 см тенденции продолжают сохраняться.

Таким образом, влияние пирогенного фактора на термический режим болота в большей степени проявилось в зоне лесотундры и выражено в увеличении средних и максимальных температур, амплитуды сезонных и суточных колебаний. На Бакчарском болоте к 2024 г. различия сгладились. На верховых болотах таежной зоны различия термического режима между постпирогенными и соседними осушенными участками выражены в меньшей степени и определяются не только пирогенным фактором, но и особенностями режима увлажнения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 22-77-10024.

Литература

1. Синюткина А.А., Гашкова Л.П., Харанжевская Ю.А. Пирогенное изменение болотной растительности и торфа в Западной Сибири // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2024. Т. 79, № 1. С. 78–88.
2. A Mobile Measurement System for the Coupled Monitoring of Atmospheric and Soil Parameters / A.V. Bazarov [et al] // Russian Meteorology and Hydrology. 2018. Vol. 43, № 4. P. 271–275.

Голоценовые почвенные архивы в озёрных котловинах лесостепи Западной Сибири (на примере озера Ярковский плёс)

Е.Н. Смоленцева*, О.И. Сапрыкин

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

** parabraunerde1961@gmail.com*

Аннотация. Изучена почвенно-седиментационная последовательность (ПСП) в котловине оз. Ярковский плёс, входящего в состав Чановской озёрной системы. Дана характеристика строения ПСП, установлены условия формирования седиментационных слоёв, свойства и возраст (по C14) погребённых почв в её составе. На основе полученной информации сделана реконструкция динамики палеосреды и озёрного ритма в позднем голоцене (3,6–0 кал. т.л.н.).

Ключевые слова: палеопочвы, возраст почв, радиоуглерод, озеро Чаны, лесостепь, почвенно-седиментационная последовательность

Holocene soil archives in lake basins of the forest-steppe of Western Siberia (using the example of Lake Yarkovsky Ples)

E.N. Smolentseva*, O.I. Saprykin

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

** parabraunerde1961@gmail.com*

Summary. Studied the soil-sedimentary sequence (SSS) in the basin of Lake Yarkovsky Ples, which is part of the Chanovskaya lake system. The characteristics of the structure of the sedimentary layer are given; the conditions for the formation of sedimentary layers, the properties and age (according to C14) of the buried soils in its composition are established. Based on the information obtained, a reconstruction of the paleoenvironment dynamics and lake rhythm in the late Holocene (3.6–0 cal. ka) was made. More than 4 ka the lake was absent, and there was a swampy lowland. About 3.8 ka a shallow lake formed, and from 3.6 ka a period of cyclic fluctuations in the water level in it began. Than about 400 years ago, there was an increase in aeolian activity, which is typical for the stages of climate aridization.

Keywords: paleosols, soil age, radiocarbon, Lake Chany, forest-steppe, soil-sedimentary sequence

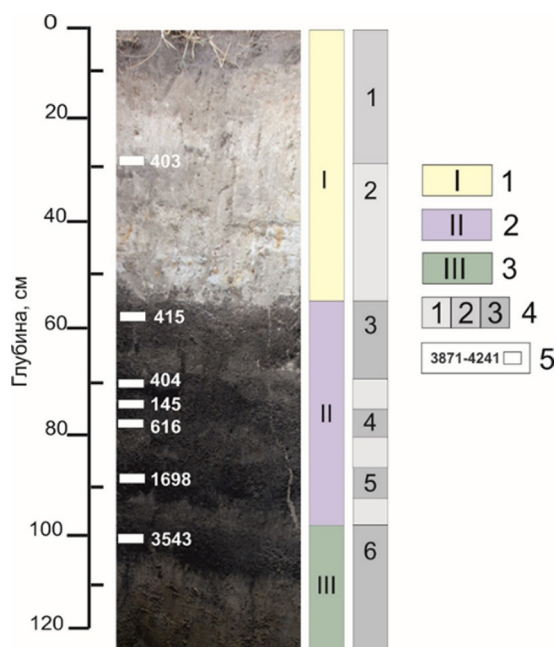
Почвы способны записывать информацию об условиях среды в период своего формирования и поэтому являются важным источником данных для палеоэкологических реконструкций [1, 2]. В настоящее время для этого ши-

роко используются почвенно-седиментационные последовательности (ПСП), например, почвенно-лессовые, аллювиальные или склоновые. Менее изучены в этом аспекте ПСП озёрных котловин особенно на территории Западной Сибири (ЗС) [3, 4]. Озёра широко распространены в степном биоме ЗС и, по данным многих исследований, в голоцене в них происходили климатически обусловленные колебания уровня воды и соответствующие ландшафтные изменения [5]. В настоящее время озера находятся в стадии регрессии, и в обсохшей части озёрных котловин встречаются разновозрастные береговые валы, маркирующие палеобереговые линии озёр. К береговым валам приурочены почвенно-седиментационные последовательности (ПСП), которые включают дневные и погребённые почвы, а также седименты различного генезиса. Седиментационные слои в составе ПСП соответствуют этапам осадконакопления и трансгрессивной фазе озёрного ритма. Погребённые палеопочвы маркируют этапы педогенеза и являются индикаторами фазы регрессии озера. Таким образом, ПСП фиксируют природную ритмичность, в том числе климатическую, когда благоприятные условия соответствуют педогенной фазе, неблагоприятные – литогенной.

Для реконструкции озерного ритма и динамики условий среды в голоцене исследована ПСП (разрез ЯП-19) в котловине оз. Ярковский плёс, который входит в состав Чановской озерно-бассейновой системы, расположенной на территории Барабинской равнины в лесостепной зоне ЗС. Почвы, седименты и палеопочвы в составе ПСП были изучены комплексом общепринятых в почвоведении методов. Хроностратиграфия ПСП проведена по ¹⁴C, определенного методом УМС на базе ЦКП «Геохронология кайнозоя» (Новосибирск, РФ). Калибровка радиоуглеродных дат произведена с использованием R пакета Bchron на калибровочной кривой IntCal20.

Установлено, что в составе ПСП имеется 3 седиментационных слоя, 5 погребённых почв и одна дневная (рисунок). Слой 100–160 см – это базовый седиментационный слой, представленный гидрогенно-трансформированными тяжёлыми суглинками карасукской свиты неоплейстоценового возраста. Слой 52–100 см сложен пойменно-делювиальными осадками. По варьированию содержания различных фракций грансостава подразделяется на два фациальных слоя. Нижний (88–100 см) суглинистый, заметно опесчанен, содержит больше мелкого песка, чем вышележащая толща этого слоя. 52–88 см субстрат преимущественно легкоглинистый, с самым высоким в профиле содержанием физической глины (61–66%) и повышенным относительно базового слоя содержанием крупной пыли. Слой 28–52 см – это песчано-супесчаные отложения берегового озёрного вала, верхняя часть (0–28 см) которого является золовым наносом. Базовому слою соответствует нижняя погребённая гумусовая квазиглеевая почва, гумусовый горизонт которой сильно эродирован. Сохранилась лишь его нижняя часть, а также квазиглеевый горизонт Q. Возраст остаточной части гумусового горизонта определяется как 3,4–3,6 кал. тысяч лет назад (т.л.н.). Далее начинает проявляться циклическое чередование процессов осадконакопления и педогенеза. Это соответ-

ствуется синлитогенному почвообразованию, аналогично аллювиальному в условиях речной поймы. Период синлитогенного гидроморфного почвообразования продолжался около 1300 лет (с 1,7 кал. т.л.н. по 400 кал. л.н.) и имел 3 цикла, которым соответствуют три гумусовых горизонта со сходными свойствами. Затем около 400 лет назад происходит относительно резкая смена условий осадконакопления и в этой части котловины начинает формироваться береговой вал, что сопровождается интенсивным размывом почв, аквальной сортировкой субстрата и отложением песчаного берегового вала. Хроностратиграфия седиментов берегового вала свидетельствует о высокой скорости осадконакопления в этот период: так слой мощностью около 30 см (20–52 см с учетом размыва) отложился менее чем за 100 лет. В отложениях озерного вала выделено две почвы и, соответственно, две фазы педогенеза: современная поверхностная почва и одна погребённая. Сохранность гумусового горизонта погребённой почвы слабая, он фрагментирован, поверхность его размыта. Хорошо выражены признаки биологической активности: ходы беспозвоночных, крупные кротовины с гумусовым заполнением. Срединный горизонт не выражен. Предположительно это была темногумусовая почва. Дневная почва – это псаммозём гумусовый с профилем типа W-C. В целом изученная ПСП хронологически охватывает период позднего голоцена (3,6–0 кал. т.л.н.).



Строение ПСП в котловине оз. Ялковский плёс. Условные обозначения: Седименты: 1 – озёрные пески берегового вала; 2 – лимно-аллювий с включением педоседиментов; 3 – неоплейстоценовые суглинки (базовый субстрат); 4 – номер почвы в последовательности; 5 – возраст погребённых почв по ^{14}C (кал. л. н.) и место отбора пробы

Химические свойства погребённых почвенных горизонтов сходны между собой, что свидетельствует об относительно стабильных гидротермических условиях педогенеза. Отмечается лишь увеличение содержания карбонатов в третьей и четвёртой погребённых почвах, что может быть обусловлено более тёплыми условиями и биогенным накоплением карбонатов, которое определяется по включению большого количества раковин гастропод.

Строение и хроно-стратиграфия ПСП ЯП-19 позволяет сделать следующую реконструкцию динамики палеосреды. Более 4 т.л.н. озера здесь не было, а существовала заболоченная низина, которой соответствует нижняя гидроморфная почве. Около 3,8 т.л.н. образуется озеро, а с 3,6 т.л.н. начинается период циклических колебаний уровня воды в нём, что приводило к смене условий: мелководная часть озера – приозёрный болотный пояс (займище). При затоплении (субаквальная седиментация в мелководной зоне) происходила озёрная аккумуляция тонкодисперсных осадков. При снижении уровня озера здесь было болото и соответственно гидроморфное почвообразование. Условия были предположительно прохладные и влажные, так как в почвах нет признаков аккумуляции карбонатов и легкорастворимых солей, что означает отсутствие интенсивной транспирации. К концу этого этапа развития озера условия становятся более тёплыми, так как биогенная аккумуляция карбонатов в виде раковин моллюсков, индицирует условия мелководного хорошо прогреваемого водоема. Затем около 400 лет назад происходит усиление золотой активности, что характерно для этапов аридизации климата, быстрое формирование берегового вала, его стабилизация и этап педогенеза.

Таким образом, почвы в составе ПСП показывают регрессивные этапы озерного ритма, и соответственно, аридные фазы голоценового климата, а озерные отложения являются индикаторами трансгрессии озер и гумидных климатических фаз. Датировка почв по C14 позволяет установить хронологию педогенеза, осадконакопления и, соответственно, аридных и гумидных климатических фаз. Проведённые исследования показали информативность почвенных архивов озёрных котловин для реконструкции климатических флуктуаций голоцена в степном биоме ЗС.

Работа выполнена по государственному заданию ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН.

Литература

1. Таргульян В.О., Бронникова М.А. Память почв: теоретические основы концепции, современное состояние и перспективы развития // Почвоведение. 2019. № 3. С. 259–275.
2. Tabor N.J., Myers T.S. Paleosols as Indicators of Paleoenvironment and Paleoclimate // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 2015. № 43. P. 333–361.
3. Gavrilov D. A., Smolentseva E. N., Saprykin O. I. Soils of lake depressions in the steppe biome of West Siberia as indicators of Holocene climate rhythms // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 862. doi:10.1088/1755-1315/862/1/012005

4. Сапрыкин О.И., Смоленцева Е.Н. Почвенные архивы палеоэкологической информации в котловинах степных озёр Западной Сибири // Материалы Всероссийской конференции «Почвы – опора России: тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева» (Казань, 12–16 августа 2024 г.). Москва; Казань: МАКС–Пресс. 2024. С. 715–717.

5. Чупина Д.А., Зольников И.Д., Смоленцева Е.Н. Прогнозное картографирование пространственно-временной динамики экосистем при разнонаправленных трендах климатического увлажнения в субаридных условиях // Сибирский экологический журнал. 2020. № 5. С. 662–675.

УДК 631.41

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-28

Физико-химические и экологические свойства техногенных поверхностных образований рекультивированных отвалов

Н.С. Султанова*, Н.В. Митракова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

** natasulta777@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрены свойства литостратов и эмбриозема, образованных на рекультивированных отвалах Кизеловского угольного бассейна (КУБ). Литостраты слабокислые, эмбриозём – слабощелочной. Литостраты имеют глинистый гранулометрический состав, эмбриозем – суглинистый. Активность тяжелых металлов в верхних слоях ТПО низкая, но увеличивалась с глубиной, содержание Cd, Zn и Cu превышает кларк по Виноградову. Показатели высоты и массы тест-культуры показали, что поверхностные слои изученных ТПО находятся в удовлетворительном состоянии.

Ключевые слова: техногенное поверхностное образование, литострат, эмбриозём, угольный отвал, рекультивация

Physico-chemical and ecological properties properties of technogenic surface formations of recultivated dumps

N.S. Sultanova*, N.V. Mitrakova

Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

** natasulta777@gmail.com*

Summary. The paper considers the properties of lithostrates and embryozem formed on reclaimed dumps of the Kizel coal basin (KCB). Lithostrates are slightly acidic, embryozem is slightly alkaline.

Lithostrata have a clayey granulometric composition, while embryozem is loamy. The activity of heavy metals in the upper layers of the TSF is low, but increased with depth, the content of Cd, Zn and Cu exceeds the clark according to Vinogradov. The height and mass indicators of the test culture showed that the surface layers of the studied TSF are in a satisfactory condition.

Keywords: technogenic surface formation, lithostrat, embryozem, coal dump, reclamation

Угольная промышленность оказывает значительное негативное воздействие на экосистемы. Происходит загрязнение компонентов окружающей среды [1], в том числе почвенного покрова тяжелыми металлами и микроэлементами [2]. Отвалы угледобычи занимают значительные площади, являются источниками загрязнения атмосферного воздуха продуктами горения [3]. Рекультивация отвалов и нарушенных территорий, восстановление почв и высшей растительности является важной прикладной задачей в восстановлении техногенных экосистем [4]. Цель работы – исследование физико-химических свойств ТПО рекультивированных отвалов КУБа и оценка их экологических свойств.

Кизеловский угольный бассейн (КУБ) расположен в восточной части Пермского края. Площадь бассейна около 1500 км². Добыча велась подземным способом на протяжении 200 лет, КУБ ликвидирован в начале 2000-х гг.. На его территории насчитывается несколько десятков отвалов вскрышных пород.

Цель работы – изучение физико-химических и эколого-геохимических свойств почв, образованных на отвалах Кизеловского угольного бассейна. Задачами исследования являются характеристика физико-химических свойств почв, исследование уровня загрязнения почв тяжелыми металлами и микроэлементами, изучение биологических свойств почв и способности выполнять экосистемные функции.

Объекты исследования – техногенные поверхностные образования (ТПО) отвалов КУБа. Возраст ТПО отвалов отличается, варьирует от 4 до 25 лет. Литостраты образованы в результате отсыпки глинистого материала мощностью до 0,5 м на поверхность предварительно выровненного отвала. Эмбриозём дерновый образован в результате 25-летнего периода почвообразования на отвале, рекультивированного путем измельчения вскрышных пород и добавления в них гашеной извести для снижения кислотности. ТПО отобраны по слоям с шагом 10 см, глубина прикопок около 30 см.

В ТПО определены pH водный и солевой потенциометрическим методом; активность Cd, Zn и Cu методом ионоселективных электродов на pH-метре; гранулометрический состав – по методу пипетки Н.А. Качинского; содержание органического углерода определено по И.В. Тюрину с фотометрическим окончанием; микроэлементный состав определен методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре Elan 900. Фитотестирование поверхностных слоев выполнено с использованием кресс-салата в ка-

честве тест-культуры, раствора Кнопа и контроля на вермикулите [9]. Для статистического анализа использовали программное обеспечение STATISTICA 7 (Statsoft, США), MS Excel (Microsoft, США) и Past 4.03. Для статистической обработки полученных данных использовали регрессионный и корреляционный анализ при доверительной вероятности 95%.

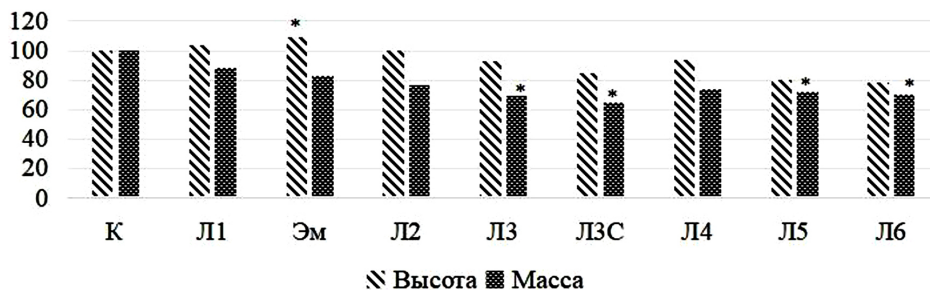
Кислотность почвенной среды литостратов варьировала от сильнокислой до слабокислой, рНвод не превышал 6,8, рНсол – 5,3; кислотность с глубиной увеличивалась. Это связано с наличием в нижнем слое литостратов включений вскрышных пород отвала, имеющих очень кислую реакцию. Верхние слои эмбриозема – слабощелочные (рНвод = 7,8), с глубиной кислотность возрастала.

Литостраты характеризовались легким и тяжелым глинистым гранулометрическим составом в основном крупнопылевато-иловатым, соотношение физической глины и физического песка составило в среднем 60 : 40. Эмбриозём имел суглинистый состав крупнопылевато-мелкопесчаный, соотношение физической глины и физического песка 40 : 60. Следует отметить наличие большого количества включений в нижних слоях литостратов в виде угля, гальки и других минералов. В эмбриозёме преобладала песчаная фракция, представленная мелко размельчённым материалом породного отвала и углями. В эмбриозёмах Кузбасса также преобладает песчаная фракция [5], что связано с большим количеством песчаника в объеме вскрышных пород. Плотность твёрдой фазы исследованных ТПО соответствует гумусовым суглинистым и глинистым горизонтам. Гигроскопическая влажность варьирует от 1,62 до 5,41%.

Содержание органического углерода в литостратах невысокое, изменяется от 1% до 3% в верхних слоях. Максимально содержание органического углерода в литостратах обнаружено в слоях ТПО над породным отвалом, что также связано с включениями пород отвала. В эмбриозёме содержание органического углерода около 12%, что связано с наличием углистых частиц.

Подвижность тяжелых металлов (Cd, Zn, Cu) в ТПО низкая, но с глубиной увеличивается в 1,5–3 раза. Рост подвижности связан с увеличением кислотности в нижних слоях ТПО. Между активностью металлов и рНвод выявлена сильная регрессионная связь, для активности меди коэффициент регрессии с рНвод составил 0,94; для цинка – 0,72; для кадмия – 0,86. Содержание Cd варьирует от 1,6 до 10 в литостратах, в эмбриоземе 13–20 мг/кг, что выше значений кларка по Виноградову, содержание Cd в почвах данной территории связано с его халькофильной природой и геохимическими особенностями данного ландшафта. Содержание Cu колеблется от 28 до 186 в литостратах, в эмбриоземе 61–94. Количество Zn в литостратах 59–149 мг/кг, в эмбриоземе 61–94 мг/кг.

Высота растений, выращенных на верхнем слое эмбриозема, достоверно превышала высоту растений на контроле (рисунок).



Высота и масса тест-культуры, в % от контроля: * – достоверные отличия от контроля;
 К – контроль, Л1 – литострат 1, Эм – эмбриозём, Л2 – литострат 2, Л3 – литострат 3,
 ЛЗС – литострат 3 (склон), Л4 – литострат 4, Л5 – литострат 5, Л6 – литострат 6)

Это может быть связано с низкой кислотностью среды, относительно рыхлой структурой, высоким содержанием органического вещества. Показатели массы и высоты кресс-салата литостратов 3, 5, 6 и литострата 3 (склон) ниже по сравнению с контролем, это связано с высокой плотностью и низким содержанием органического вещества.

Корреляционный анализ показал наличие положительной связи между высотой растений с кислотностью ТПО. Активность Си коррелирует с рНвод. Также обнаружена отрицательная связь между содержанием органического углерода и физической глиной.

Таким образом свойства ТПО и фитотестирование показало эффективность проведённых рекультивационных мероприятий, однако необходимы дополнительные мелиоративные мероприятия при рекультивации для наиболее быстрого формирования устойчивого растительного покрова.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00324, <https://rscf.ru/project/24-27-00324/>.

Литература

1. Xiaoyang Liu [et al.] Heavy metal concentrations of soils near the large open-cast coal mine pits in China // Chemosphere. 2020. Vol. 244. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125360
2. Tozsın G. Hazardous elements in soil and coal from the Oltu coal mine district, Turkey // International Journal of Coal Geology. 2014. Vol.131. P. 1–6. doi: 10.1016/j.coal.2014.05.011
3. Bragina P.S. [et al.] Soils on Overburden Dumps in the Forest_Steppe and Mountain Taiga Zones of the Kuzbass // Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 47. P. 723–733. doi: 10.1134/S1064229314050032
4. Ye Yuan [et al.] Reclamation promotes the succession of the soil and vegetation in opencast coal mine: A case study from Robinia pseudoacacia reclaimed forests, Pingshuo mine, China // CATENA. 2018. Vol. 165. P. 72–79. doi: 10.1016/j.catena.2018.01.025
5. Госсен И.Н., Беланов Н.П. Гранулометрический состав эмбриозёмов в техногенных ландшафтах лесостепной зоны Кузбасса // Сибирский экологический журнал. 2011. № 5. С. 713–718.

Инверсия химизма засоления почв юга Восточной Сибири

Г.И. Черноусенко

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, Россия
chergi@mail.ru

Аннотация. Химизм засоления почв котловин юга Восточной Сибири не связан с природно-климатическими зонами. Он определяется источниками и механизмами засоления. В Минусинской котловине наличие месторождений гипса определяет преимущественно сульфатный химизм. Мерзлотный водоупор в ряде котловин Бурятии и Тувы приводит к доминированию хлоридов. В сухостепных котловинах Бурятии большое влияние оказывают подземные воды и наличие натриевых нефелиновых сиенитов, что определяет преимущественно содовый химизм засоления.

Ключевые слова: Тува, Бурятия, Хакасия, Минусинская котловина, природно-климатические зоны, источники и механизмы засоления

Inversion of the chemistry of soil salinization in the south of Eastern Siberia

G.I. Chernousenko

*Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
Moscow, Russian Federation
chergi@mail.ru*

Summary. The chemistry of soil salinization in the basins of the south of Eastern Siberia is not related to natural and climatic zones. It is determined by the sources and mechanisms of salinization. In the Minusinsk basin, the presence of gypsum deposits determines mainly sulfate chemistry. Permafrost aquiclude in a number of basins in Buryatia and Tuva leads to the dominance of chlorides. In the dry steppe basins of Buryatia, groundwater and the presence of sodium nepheline syenites have a great influence, which determines mainly soda chemistry of salinization.

Keywords: Tuva, Buryatia, Khakassia, Minusinsk basin, natural and climatic zones, sources and mechanisms of salinization

Для Восточно-Европейской равнины В.А. Ковда [1] предложил концепцию связи химизма засоления с зональностью – преобладание в лесостепи содового, в степи сульфатного, в сухостепной зоне сульфатно-хлоридного и полупустынной зоне хлоридного засоления. В таблице показана связь химизма засоления с ландшафтами и широтой 26 котловин юга Восточной Сибири. Три правые колонки показывают гипотетический химизм, согласно концепции В.А. Ковды, данным карты Засоления почв России [2] и, согласно нашим аналитическим материалам. Сразу отметим, что в таблице представлены дан-

ные по преобладающему химизму засоления. Так как многие котловины имеют сухостепной ландшафт, то здесь, согласно концепции В.А. Ковды, должен бы доминировать преимущественно сульфатно-хлоридный химизм. Однако уже на карте, созданной под редакцией Е.И. Панковой [2], наблюдается несоответствие. На юге при преобладании хлоридного засоления велика доля котловин с содовым засолением или с участием соды, а на севере исследуемого региона больше сульфатного засоления. Согласно нашим аналитическим данным, картина отличается от зонально-широтной еще сильнее [3]. Химизм засоления соответствует выявленному на Восточно-Европейской равнине лишь в 20–25% случаев.

Связь преобладающего химизма засоления почв котловин юга Восточной Сибири с широтой и ландшафтом

Ландшафт	Широта	Котловина	По концепции Ковды В.А.	Карта под. ред. Е.И. Панковой	Аналитика
Таежный	56,4	Муйская	Содовый	Сульфатный	Сульфатный
Лесостепной	55,3	Чулымо-Назаровская	Содовый	Сульфатный	Сульфатный
Степной	54,7	Июсо-Ширинская	Сульфатный	Сульфатный	Сульфатный
Степной	54	Баргузинская	Сульфатный	Сульфатный	Содовый
Сухостепной	53,5	Южно-Минусинская	Хлоридный	Сульфатный	Сульфатный
Лесостепной	52,6	Еравнинская	Содовый	Сульфатный	Сульфатный
Таежный	52,5	Тоджинская	Содовый	Содовый	Хлоридный
Степной	52,25	Ононская	Сульфатный	Содовый	Сульфатный
Степной	52,1	Удинская	Сульфатный	Содовый	Содовый
Степной	52	Турано-Уюкская	Сульфатный	Содовый	Сульфатный
Степной	51,8	Кижингинская	Сульфатный	Содовый	Сульфатный
Сухостепной	51,8	Иволгинская	Хлоридный	Содовый	Сульфатный
Сухостепной	51,7	Улугхемская	Хлоридный	Сульфатный	Сульфатный
Лесостепной	51,7	Тункинская	Содовый	Сульфатный	Хлоридный
Сухостепной	51,5	Шагонар-Чаахольская	Хлоридный	Сульфатный	Хлоридный
Сухостепной	51,5	Оронгойская	Хлоридный	Содовый	Сульфатный
Степной	51,3	Как-Хольская	Сульфатный	Содовый	Сульфатный
Сухостепной	51,3	Гусиноозерская	Хлоридный	Сульфатный	Сульфатный
Степной	51,2	Тугнуйская	Сульфатный	Содовый	Сульфатный
Сухостепной	51,1	Хемчикская	Хлоридный	Содовый	Хлоридный
Сухостепной	50,7	Боргойская	Хлоридный	Содовый	Содовый
Сухостепной	50,6	Бичурская	Хлоридный	Сульфатный	Содовый
Сухостепной	50,5	Кударинская	Хлоридный	Содовый	Содовый
Таежно-лесостепной	50,5	Терехольская	Содовый	Хлоридный	Хлоридный
Полупустынный	50,5	Убсунурская	Хлоридный	Хлоридный	Сульфатный
Сухая степь горная	50,3	Каргынская	Хлоридный	Хлоридный	Сульфатный

С чем же связаны столь значимые отличия в химизмах засоления почв? Можно было бы предположить, что это связано с горно-котловинным рельефом.

Котловины чаще небольшие, и широтная зональность здесь сильно не проявляется, уступая место высотной. Но даже если взять наиболее протяженную в широтном направлении Минусинскую котловину, в которой с севера на юг наблюдается смена ландшафтов: лесостепь (Чулымо-Назаровская котловина), степь (Июсо-Ширинская), сухая степь (Южно-Минусинская), то и в этом случае мы не наблюдаем корреляции с химизмом засоления почв. В Минусинской котловине химизм связан с породами девона, содержащими гипс, а также с наличием пирита в угленосных формациях, что определяет доминирующий сульфатный химизм засоления как в лесостепной, так и в сухостепной зонах котловины.

Химический портрет котловин не связан ни с ландшафтом, ни с зональностью. Так, в таежно-лесостепных котловинах доминируют токсичные хлориды и сульфаты, что по концепции В.А. Ковды характерно для сухостепных и даже полупустынных ландшафтов.

Таким образом, мы не можем подтвердить связь химизма засоления почв с природно-климатической зоной, ни с широтой, ни с ландшафтом.

Анализ источников и механизмов засоления в каждой конкретной котловине позволил выявить некоторые закономерности. Как указывалось, выше, во всей Минусинской котловине доминирует сульфатный химизм засоления. Это не означает, что там нет содового типа химизма или с участием соды. Этот химизм засоления есть, и доля сульфатного химизма с участием соды достаточно велика. Чаще этот тип засоления встречается либо при орошении, либо в восстановительных условиях весной, проявляясь временно. Степень содового засоления обычно слабая. Возрастание доли хлоридов в Минусинской котловине проявляется крайне редко в местах разгрузки подземных хлоридных вод.

В более южных котловинах Тувы, несмотря на их расположение преимущественно в сухостепной и полупустынной зонах (юг Тувы), хлориды не доминируют. Даже в Убсунурской котловине, рядом с которой находятся единственные на юге Восточной Сибири месторождения каменной соли и гипса (Дусдагское и Торгалыкское), хлориды в почвах не преобладают, хотя их доля достаточно велика. Это связано с подвижностью хлоридов и легким, часто щебнистым гранулометрическим составом профиля почв. Хлориды вымываются в озера и реки, в почвах остаются преимущественно сульфаты. Доминирование хлоридов наблюдается в Терехольской и Тоджинской котловинах, где присутствует льдистая мерзлота, которая не позволяет хлоридам покидать профиль почв. Это и определяет инверсию химизма засоления. В лесостепной Терехольской котловине преобладает хлоридный химизм, а в сухостепной, местами полупустынной, Убсунурской – сульфатный.

Инверсия химизма засоления наблюдается и в котловинах Бурятии. Доминирование или значительная доля сульфатов отмечены в самой северной

таежной Муйской котловине. В лесостепных котловинах, где присутствует мерзлота – в Тункинской и Еравнинской – велика доля хлоридов. В наиболее южных сухостепных котловинах Бурятии химизм засоления почв преимущественно содовый. Здесь распространены содовые озера (Верхнее и Нижнее Белое, Киран). Химизм, вероятно, связан с разгрузкой содовых вод, а также распространением здесь нефелиновых натриевых сиенитов и щелочных гранитов [4].

Если проводить обобщение более широко, по крупным регионам, то картина усредняется. Так, если в целом рассматривать Хакасию, юг Красноярского края, котловины Бурятии и Тувы, то везде преобладает нейтральное, преимущественно сульфатное, засоление.

Таким образом, подытоживая всё вышеизложенное, можно сделать следующее заключение. Засоление почв в котловинах юга Восточной Сибири присутствует в разных природно-климатических зонах. Зональность проявляется чаще кольцами: наиболее прогреваемыми и сухими участками являются самые нижние части дна котловин, а также южные склоны, где чаще и встречаются засоленные почвы. КУ этих районов меньше 1, что однозначно способствует проявлению засоления. При этом химизм засоления почв отдельных котловин юга Восточной Сибири не связан с их ландшафтом и широтой. Он определяется источниками засоления – наличием месторождений гипса, легкорастворимых солей, сульфидов в угольных месторождениях, карбонатах, щелочных гранитов и нефелиновых сиенитов в окружающих породах гор, разгрузкой минерализованных подземных вод, а также механизмами засоления, где одними из основных факторов являются гранулометрический состав и наличие мерзлотного водоупора. Это определяет наличие в ряде котловин хлоридного засоления в таежных и лесостепных районах, а содового – в сухостепных.

Литература

1. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв: в 2 т. М.; Л.: АН СССР, 1946. Т. 1. 573 с.
2. Засоленные почвы России. М.: Академкнига, 2006. 854 с.
3. Черноусенко Г.И. Засоленные почвы котловин юга Восточной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2022. 480 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Алдано-Забайкальская серия. Лист М-48 (Улан-Удэ). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. 271 с.; 3 вкл. Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ГФУП «Бурятгеоцентр».

**СЕКЦИЯ 3
ПОЧВЫ И ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
РЕКОНСТРУКЦИИ ГОЛОЦЕНА
И ПЛЕЙСТОЦЕНА. РОЛЬ ЧЕЛОВЕКА
В ФОРМИРОВАНИИ СОВРЕМЕННОГО
ОБЛИКА ПЕДОСФЕРЫ**

**SECTION 3
SOILS AND PALEOECOLOGICAL
RECONSTRUCTIONS OF THE HOLOCENE
AND PLEISTOCENE. THE ROLE OF MAN
IN THE FORMATION OF THE MODERN
APPEARANCE OF THE PEDOSPHERE**

УДК 631.46

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-30

**Пастбищная дигрессия как фактор ухудшения
функции педосферы**

Е.А. Бурукина*, А.Х. Хасанова

Астраханский государственный университет

им. В.Н. Татищева, Астрахань, Россия

** pro100-ekaterina@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена изучению влияния пастбищной дигрессии на функции педосферы, в качестве индикаторной группы для характеристики почвенного покрова выбраны бактерии р. *Azotobacter*, ключевые в фиксации азота и повышении плодородия. Исследование проведено на полигонах Астраханской области с разными стадиями пастбищной дигрессии. Результаты показывают, что с увеличением дигрессии численность *Azotobacter* снижается, ухудшая биологическое состояние почвы и её восстановительные возможности.

Ключевые слова: *Azotobacter*, пастбищная дигрессия, почвенный индикатор, биология почв, деградация

Pasture digression as a factor of deterioration of pedosphere function

E.A. Burukina*, A.K. Khasanova

Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russian Federation

**pro100-ekaterina@mail.ru*

Summary. The article is devoted to the study of the effect of pasture digression on the functions of the pedosphere. *R. Azotobacter* bacteria, which are key in nitrogen fixation and fertility enhancement, were selected as an indicator group for soil cover characterization. The study was conducted at landfills in the Astrakhan region with different stages of pasture digression. The results show that with increasing digression, the number of *Azotobacter* decreases, worsening the biological condition of the soil and its restoration capabilities.

Keywords: *Azotobacter*, pasture digression, soil indicator, soil biology, degradation

Пастбищная дигрессия представляет собой комплекс процессов, характеризующих ухудшение состояния пастбищных экосистем и растительного покрова под воздействием чрезмерного выпаса скота. В результате развития дигрессии происходит изменение видового состава растительности, снижение продуктивности пастбищ, ухудшение качества кормовых ресурсов и сокращение биоразнообразия [1]. Эти процессы негативно сказываются на устойчивости и экологическом балансе пастбищных территорий [2, 3].

Пастбищная дигрессия негативно влияет на функции педосферы, поэтому важной задачей является изучение микробиологических процессов, протекающих в почве при различных стадиях дигрессии, поскольку микроорганизмы играют ключевую роль в поддержании плодородия и экологического равновесия.

Цель работы: изучить влияние пастбищной дигрессии на функции педосферы, связанные с бактериями рода *Azotobacter* и биологической фиксацией азота.

Важным показателем биологического состояния почвы служит численность (обилие) бактерий рода *Azotobacter*. *Azotobacter* – это группа микроорганизмов, способных фиксировать атмосферный азот и превращать его в формы, доступные для растений и других организмов. Они превращают молекулярный азот (N_2), недоступный для растений, в аммиак (NH_3), который далее участвует в образовании нитратов и аммония – форм, легко усваиваемых растениями. Это обеспечивает естественное обогащение почвы азотом, повышает ее плодородие и способствует устойчивому развитию растительности [4].

В целом, бактерии рода *Azotobacter* являются ключевыми агентами биологической фиксации азота, что обеспечивает питание растений и способствует восстановлению и поддержанию плодородия педосферы [5]. Их деятельность особенно важна при деградации пастбищных угодий, так как сни-

жение численности или активности этих микроорганизмов ухудшает функции почвы и способствует ее деградации.

Для исследования воздействия пастбищной дигрессии на численность бактерий рода *Azotobacter* был выбран полигон, расположенный в Астраханской области, характеризующийся различными степенями дигрессии пастбищных угодий. На территории полигона заложены почвенные разрезы для отбора образцов (Б1, Б2, Б3 – п. Барханы, МО «Прикаспийский сельсовет»). Степень дигрессии определяли в соответствии со шкалой Л.Г. Раменского [6, 7]. Численность почвенных микроорганизмов оценивали посредством метода обрастания комочков на питательной среде Эшби [8]. За ростом колоний мы наблюдали в течение 10 дней, фиксируя результаты.

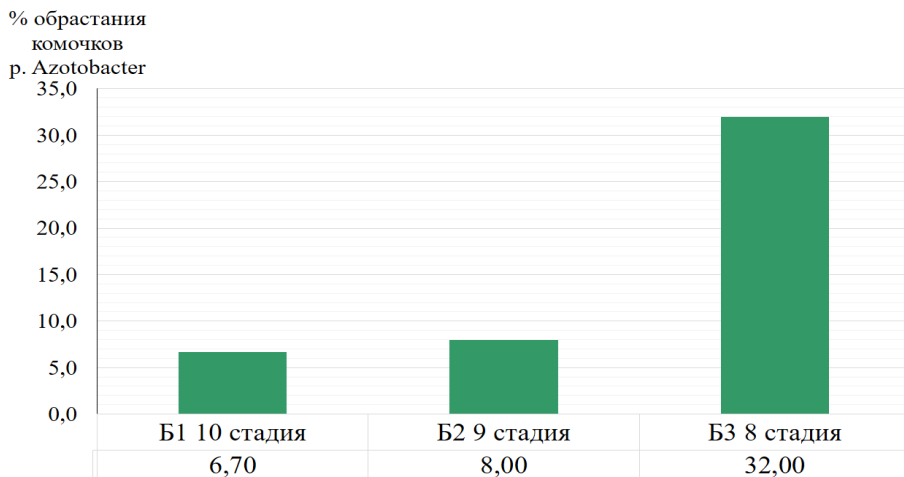
Почвенный покров исследуемого полигона характеризуется наличием различных типов песков полупустынных, находящихся на различных стадиях пастбищной дигрессии. Так, незакреплённые пески (барханы), соответствующие 10-й стадии дигрессии, демонстрируют абсолютный сбой экосистемы: почва вытоптана, практически полностью лишена растительного покрова. Пески слабозакреплённые, относящиеся к 9-й стадии пастбищной деградации, характеризуются значительным снижением растительности, представлены джужгунно-песчанолюбными сообществами. Наиболее стабилизированные – закреплённые полупустынные пески, соответствующие 8-й стадии дигрессии – проявляют признаки полусобоя и заселены преимущественно несъедобными и колючими пастбищными сорняками вида *Alhagi pseudalhagi*.

В песках полупустынных незакреплённых и слабозакреплённых наблюдается крайне низкое содержание гумуса, которое в верхних слоях не превышает 0,12–0,18%. Такое его присутствие обусловлено, вероятно, наносным механизмом – наносом гумусовых веществ с прилегающих гумусированных почв. Реакция почвенного раствора в данных слоях характеризуется слабощелочной средой с pH в диапазоне 7,8–8,1. В закреплённых песках содержание гумуса увеличивается и составляет от 0,14 до 0,39%, при этом реакция почвенного раствора также является слабощелочной – pH 7,3–7,8. Анализ профиля показывает отсутствие признаков засоления.

На рисунке представлены результаты исследования обилия бактерий р. *Azotobacter* в почвах, подверженных различной стадии пастбищной дигрессии полигона Барханы.

В рамках исследования, выполненного методом определения численности почвенных микроорганизмов посредством анализа комочков обрастания, выявлены значительные изменения в составе микробиологической популяции в зависимости от стадии пастбищной деградации. На участке с высокой степенью дигрессии (Б1) количество азотофиксирующих бактерий является предельно низким. По мере снижения степени деградации почвы (Б2) наблюдается увеличение численности бактерий рода *Azotobacter* на 1,2% по сравнению с участком 10-й стадии, однако их абсолютное содержание остаётся очень низким – около 8%. В точке Б3, соответствующей стадии полусобоя (8-я стадия дигрессии), показатель относительной оценки плотности населе-

ния указанных групп микроорганизмов значительно возрастает и достигает 32%, что свидетельствует о восстановлении и активизации азотфиксирующих процессов в почве при снижении степени деградации.



Процентное обрастание почвенных комочков бактериями рода *Azotobacter*

Результаты проведённых исследований свидетельствуют об обратной зависимости между степенью пастбищной дигрессии и численностью бактерий рода *Azotobacter* в почве: с увеличением степени деградации количество этих азотфиксирующих микроорганизмов значительно снижается. Следует подчеркнуть, что уровень обилия бактерий *Azotobacter* является важным индикатором биологического состояния почвы, отражающим её потенциал для восстановления и поддержания экологического баланса в пастбищных экосистемах.

Литература

1. Высоцкий Г.Н. Ергеня, культурно-фитологический очерк. Петроград: тип. К. Маттисена в Юрьеве, 1915. 331 с.
2. Горшкова А.А. Пастбища Забайкалья. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1973. 160 с.
3. Каримова Г.М., Аюпов Е.Е. Определение фитотоксичности почв города Уральска методом фитотестирования // Молодой ученый. 2019. № 24 (262). С. 64–65.
4. Виноградский С.Н. Об усвоении свободного азота атмосферы микробами // Архив биологических наук. 1895. Т. 3. Вып. 4.
5. Логинов О.Н. Бактерии *Pseudomonas* и *Azotobacter* как объекты сельскохозяйственной биотехнологии. М.: Наука, 2005. 166 с.
6. Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.
7. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л.Г. Раменский [и др.]. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.
8. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография / К.Ш. Казеев [и др.]; отв. ред. К. Ш. Казеев. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. 356 с.

Следы криогенных процессов в почвах Южного Приангарья

С.Л. Куikliна*, Г.А. Воробьева, А.А. Будаk

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

** kuki_swet@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрены криогенные структуры, обнаруженные в почвах Приангарья. Они являются результатом, в основном, таких процессов, как трещинообразование, пучение грунтов, инволюции и солифлюкция. Большая часть выявленных процессов приурочена к долинам рек. Активному проявлению этих процессов способствуют тяжелый гранулометрический состав и повышенное увлажнение почв и отложений.

Ключевые слова: криогенез, трещинообразование, солифлюкция, бугры пучения

Traces of cryogenic processes in the soils of the Southern Angara region

S.L. Kuklina*, G.A. Vorobyeva, A.A. Budak

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

**kuki_swet@mail.ru*

Summary. The cryogenic structures found in the soils of the Angara region are considered. They are mainly the result of such processes as crack formation, soil heaving, involution and solifluction. Most of the identified processes are confined to river valleys. The active manifestation of these processes is facilitated by the heavy granulometric composition and increased moisture content of soils and sediments.

Keywords: cryogenesis, crack formation, solifluction, frost mounds

Под Южным Приангарьем мы понимаем территорию, примыкающую в реке Ангара и ее притокам, расположенную в южной части Иркутской области.

В почвах на территории исследования активно развиваются современные сезонные криогенные процессы, связанные с существующей (функционирующей) островной многолетней мерзлотой, а также процессы, связанные с реликтовыми криогенными и посткриогенными структурами и явлениями. Для них свойственны неравномерная локализация на местности, активное проявление в современную эпоху, необратимость и дискретность развития [1].

Несмотря на широкое распространение криогенеза и палеокриогенеза на рассматриваемой территории, их изученность до сих пор остается слабой, публикации по данной тематике имеются в небольшом количестве и содержат информацию по одному или нескольким объектам. Поэтому целью дан-

ной работы было обобщить имеющийся собственный разрозненный материал за последние 10 лет по почвенному криогенезу. Для анализа и систематизации отобраны почвенные и археологические разрезы (всего 42) со встречающимися в них следами криогенных процессов.

Наиболее значимыми источниками информации являются геоархеологические объекты (ГАО) или объекты археологического наследия (ОАН), так как имеют большую площадь вскрытия почв и отложений, благодаря чему можно «прочитать» больше информации, чем в стандартном почвенном разрезе. Один из наиболее изученных нами объектов – ОАН «Стоянка «Мальта – Мост-3» в долине р. Белая (левый приток Ангара), где за два года охранно-спасательных археологических работ общая площадь раскопок составила 211 583 м², с глубиной шурфов от 2,0 до 3,5 м, что позволило рассмотреть все разнообразие форм и видов криогенных структур, сформированных на данной территории. В целом, большая часть выявленных процессов территориально приурочена к поймам и террасам реки Ангара и ее притоков (Иркут, Белая, Китой, Ока, Унга и др.), это объясняется тем, что на сегодняшний день эти территории являются наиболее изученными почвоведомы и археологами.

Следы криогенных процессов встречаются в почвах и отложениях голоценового (0–11 т.л.н.) и сартанского (11–24 т.л.н.) времени. Сартанское время на территории региона характеризовалось более суровым климатом, что подтверждается активным проявлением криогенеза и разнообразием его форм.

Один из самых распространенных криогенных процессов в зонах с сезонной и островной многолетней мерзлотой – криогенное трещинообразование, связанное с разрывной деформацией мерзлых грунтов при уменьшении их объема во время замерзания. Проявлением криогенного растрескивания в рассматриваемых отложениях является присутствие реликтовых морозобойных клиньев, заполненных материалом разного возраста и разной степени гумусированности. Местами присутствуют трещины нескольких генераций, когда в более крупную трещину позднесартанского возраста (12–11 т.л.н.), вложены более мелкие голоценовые клинья.

Крупные бугры пучения, как реликтовые, так и современные, чаще всего хорошо проявлены в рельефе, но также даже крупные бугры (гидролакколиты) могут оставаться в почвенных разрезах лишь в виде нарушений естественного залегания горизонтов. В настоящее время достаточно часто в весенний период на территории исследования образуются небольшие бугры пучения, которые в дальнейшем либо осваиваются муравьями и превращаются в так называемые у местного населения «земляные муравейники», либо исчезают практически бесследно, оставляя участки с меньшей плотностью почвенной массы.

В нижних частях профилей изученных нами почв может наблюдаться специфическое криотурбационное строение горизонтов разной степени выраженности. Процесс криотурбации (морозного механического перемещения почвенных масс) может затрагивать какой-либо один горизонт, но чаще в него включены несколько почвенных горизонтов. А процесс перераспределения вещества в многолетнемёрзлых породах в жидком состоянии может приво-

дить к разрыву мерзлого или промерзающего слоя и «впрыскиванию» разжиженного грунта или воды в него. Результатом такого процесса, происходящего на глубине, являются инъекционные структуры (инволюции), которые чаще имеют вертикальное направление и представлены внедренным материалом нижележащих слоев в верхние слои отложений.

В процессе вязкого и вязкопластичного течения дисперсного материала вниз по склонам по мерзлому слою образовались солифлюкционные толщи, характеризующиеся ярко выраженной полосчатостью в окраске. В Южном Приангарье чаще всего такие отложения имеют раннесартанский возраст (24–21 тыс.л.н.) и выходят за пределы современного почвенного профиля, но встречаются ситуации, когда солифлюксий находится на небольшой глубине в нижней части профиля.

Крип встречается в исследованных разрезах значительно реже и возникает, предположительно, за счет движения блоков отложений вниз по склону при деградации мерзлоты. Интересным результатом крипа на ГАО «Стоянка «Мальта – Мост-3» стало «захлапывание» криогенных трещин сартанского возраста.

Для нижних горизонтов почв региона характерна криогенная плитчатость с отмытыми песчано-пылеватými зернами кварца и полевых шпатов (присыпка SiO_2) на поверхности плиток. Это явление распространено в регионе повсеместно, хотя и редко упоминается в работах, и связано с замерзанием в почве мелкой сетки (шлиров) льда, которая в одних местах разрушает почвенную массу, а в других уплотняет ее. Такая структура обычно непрочная и часто осложняет уже имеющуюся в почве иную структуру.

В таблице обобщены местонахождения ГАО и почвенных разрезов с наличием криогенеза и визуально оценена степень их выраженности (в основном, по мощности или размерам структур).

Месторасположение и степень выраженности встречаемых в почвенных профилях криогенных процессов

Место	Криогенный процесс	Максимальная степень выраженности	
		Сартанское время	Голоценовое время
Долина р. Иркут (Слюдянский р-н)	Трещинообразование	++	+
	Солифлюкция	++	+
	Криогенное оструктурирование		+
Долина р. Иркут (Тункинский р-н)	Трещинообразование	+++	+
	Солифлюкция	++	+
	Криогенное оструктурирование		+
Долина р. Ангара (Иркутский р-н)	Солифлюкция	+++	
	Трещинообразование	+++	+
	Криотурбация	+	
	Крип	+	
	Криогенное оструктурирование		+

Место	Криогенный процесс	Максимальная степень выраженности	
		Сартанское время	Голоценовое время
Долина р. Китой (Ангарский р-н)	Солифлюкция	++	
	Трещинообразование	+	+
	Криогенное оструктурирование		+
Долина р. Белая (Усольский р-н)	Солифлюкция	++	
	Трещинообразование	+++	+
	Криотурбация	+++	
	Крип	++	+
	Бугры пучения		++
Долина р. Унга (Новокутский р-н)	Криогенное оструктурирование		+
	Солифлюкция	++	+
	Криотурбация	+	
	Трещинообразование	++	+
Долина р. Ока (Зиминский р-н)	Криогенное оструктурирование		++
	Солифлюкция	+	+
Ольхонский р-н	Солифлюкция	+++	
	Бугры пучения	+++	
	Трещинообразование	++	+
	Криогенное оструктурирование		+

Примечание. «+» – слабая; «++» – средняя; «+++» – сильная.

Активному проявлению криогенных процессов способствуют тяжелый гранулометрический состав почв и отложений, повышенная увлажненность почв и приуроченность к выположенным поверхностям или отрицательным формам рельефа.

Все рассмотренные криогенные структуры делятся на реликтовые (сартанские) и голоценовые. Но даже унаследованные от прошлых эпох, они продолжают влиять на современное почвообразование. Так, например, криогенное трещинообразование в позднесартанское время способствовало формированию бугристо-западинного рельефа, который создает микрокомбинации современного почвенного покрова.

Литература

1. Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 205 с.

Морфогенетическая диагностика почв (Чувальский камень, Северный Урал)

Ю.А. Рогизная*, И.А. Самофалова

*Пермский государственный аграрно-технологический университет,
Пермь, Россия*

** yuliya_pogiznaya@mail.ru*

Аннотация. На основе профилно-генетического подхода проведена диагностика и установлено классификационное положение горных почв. Почвенный покров на хребте Чувальский камень представлен почвами различного генезиса постлитогенного почвообразования. В профилях почв диагностированы большей частью переходные признаки, отмечается процессный признак и практически во всех профилях можно выделить породный признак скелетности.

Ключевые слова: морфологическое строение, горные почвы, диагностические горизонты и признаки, классификация почв

Morphogenetic diagnostics of soils (Chuvalsky stone of the Northern Urals)

Y.A. Rogiznaya*, I.A. Samofalova

Perm State Agro-Technological University, Perm, Russian Federation

** yuliya_pogiznaya@mail.ru*

Summary. Based on the profile-genetic approach, diagnostics was carried out and the classification position of mountain soils was established. The soil cover on the Chuvalsky stone ridge is represented by soils of various genesis of postlithogenic soil formation. In the soil profiles, transitional features were diagnosed for the most part, a process feature is noted, and in almost all profiles, the rock feature of skeleton can be distinguished.

Keywords: morphological structure, mountain soils, diagnostic horizons and features, soil classification

Обязательным начальным этапом любого исследования почв является морфологическое описание их в полевых условиях с последующим определением морфогенетической характеристики для установления названия почв. Климатические, геолого-географические, гидрологические факторы и их взаимное влияние в горных странах приводит к разнообразию экологических условий в формировании почвенно-растительного покрова [1–4]. Диагностические горизонты и генетические признаки отражают связь с географической средой и внутренними свойствами, историю развития в конкретных условиях и эволюцию.

В восточной части Пермского края полосой с севера на юг располагается предгорье и горная полоса Урала. В почвенном отношении эти территории изучены слабо из-за удаленности, труднодоступности и экономической непригодности. Описание морфологии важно для понимания индивидуальных особенностей горных почв.

Цель исследования – провести морфогенетическую диагностику почв на части территории ФГБУ «Государственный заповедник «Вишерский» и определить классификационное положение почв. Объект исследования – почвы хребта Чувальский камень, расположенного в пределах западного склона Северного Урала в труднодоступном регионе Уральских гор на территории строгого природного резервата (1а) по категории МСОП. Почвенный покров формируется в умеренно-континентальном климате с продолжительной малоснежной зимой и коротким прохладным летом с неустойчивой погодой и частыми дождями. В геологическом строении породный состав Чувальской свиты (О2-3 св.) относится к Центрально-Уральскому поднятию и представлен породами основного состава с кислыми вулканическими породами – сланцами (серицит-хлорит-кварцевыми, серицит-альбит-кварцевыми) [5]. Леса являются эталонными для Западного Урала, старовозрастные и высокоствольные, не нарушены вырубками и пожарами. С высотой горно-таежные леса сменяются редколесьем, а выше, в горной тундре встречается карликовая береза, под пологом которых ягодники морошки, черники, водяники, голубики.

Почвенное обследование проведено в 2023 г. на западном склоне Чувальского камня по основным элементам рельефа с высоты 868 м н.у.м. до 248 м н.у.м. (23 почвенных разреза). Диагностику почв и их классификационное положение определяли по [6], окраску горизонтов – по стандартной шкале [7].

Исследуемые почвы характеризуются постлитогенным почвообразованием. Морфологически выделены диагностические горизонты, на основании которых определены почвы пяти отделов: структурно-метаморфические, альфегумусовые, литозёмы, органо-аккумулятивные, железисто-метаморфические (таблица).

Основной фон почвенного покрова представлен почвами отдела структурно-метаморфические: бурозём типичный и бурозём грубогумусовый (11 разрезов). Для бурозёмов диагностическим горизонтом является наличие в профиле горизонта *ВМ* с ясной педогенной структурой минеральной массы. В почвах диагностированы генетические признаки, на основании которых определены подтипы бурозёмов: грубогумусированные (*ao*), ожелезненные (*f*), глееватые (*g*), потечно-гумусовые (*hi*), элювиированные (*el*), скелетные (*sk*). Бурозёмы встречаются в разных высотных поясах под разными типами леса (от 252 до 779 м н.у.м.) и высокотравной растительностью (804 м н.у.м.). В условиях Урала существование бурых почв поддерживается высоким резервом неустойчивых к выветриванию минералов, способствующих и огли-

ниванию и накоплению органо-Fe-глинистых соединений [3, 8] и характеризующиеся гумусом типа муллеподобный модер.

Классификационное положение почв на хребте чувальский камень

Тип	Подтип	Почвенная формула	Alt, м
Почвы отдела структурно-метаморфические			
Бурозём типичный	Грубогумусированный	ao ₁ -ao ₂ -ay-BM ₁ -BM ₂ -BMC-R	779–630
	Глееватый, потечно-гумусовый грубогумусированный	ao-AYhi-AYg-BMg-BMCg-R	437
	Элювиированный на погребенной дерново-подзолистый	ay-AYel-BM-[EL]-[BEL]-[Cg]-[CG]	252
Бурозём грубогумусный	Скелетный	AO-AY-BM-BMsk- BMCsk-R	804, 758–485
	Ожелезненный элювиированный	O-AO-AY-BMf-BMfel-BMC-R	798
Почвы отдела альфегумусовые			
Подбур	Охристый	O-BH-BF-BFan-R	868
	Глинисто-иллювиированный	O-BH-BFi-BF-R	810
	Охристый	O-BH-BHan- BHF-BF-R	677
Дерново-подзол	Иллювиально-железистый охристый	O-AY-E-BF-BFan	523
	Иллювиально-гумусово-железистый охристый	O-AY-E-BHan-BFan	248
Дерново-подбур	Иллювиально-гумусово-железистый	O-AY-BH-BF-C-R	610–570
	Иллювиально-железистый охристый	AY-BF-BFan-BF-C	468
Почвы отдела литоземы			
Серогумусовый	Потечно-гумусовый	Oot-hi-AYsk-R	805
	Перегноино-торфяный	Oot-Th-AY-C-R	803
Почвы отдела органо-аккумулятивные			
Серогумусовая	Глинисто-иллювиированная	ao-AY-AYi-AYCsk-C-R	702
Почвы отдела железисто-метаморфические			
Ржавозем	Железисто-гранулированный глееватый	O-AY-BFMgr,g-C	252

Почвы отдела альфегумусовые (8 разрезов) отличаются аккумуляцией алюмо-железистых соединений в альфегумусовом горизонте (*BHF*) с буровато-охристой окраской. Диагностированы следующие типы почв по высотному градиенту: подбуры на высоте более 600 м, дерново-подбур и дерново-подзол – на высотах <600 м н.у.м. В горно-тундровом поясе под лишайниково-кустарничковой тундрой (868 м) и березняковым редколесьем (677 м)

сформировались подбуры, а на средней и нижней границе леса (523–248 м) под ельниками папоротниково-зеленомошными – дерново-подзолы, под елово-пихтовыми лесами (468 м) формируются дерново-подбуры. В почвах морфологически выделяются генетические признаки: иллювиирования (*i*), ожелезнения (*BF*) и охристый (*an*).

Под бедной растительностью (мхами и лишайниками, кустарничками) тундр гольцового пояса сформировались маломощные почвы (28–30 см): литоземы с щебнисто-сланцеватой мелкозёмистой толщей с четким красноватым оттенком профиля, характерным для мерзлотного промерзания. В профиле по верхнему горизонту (*AY*) выделен тип литозём серогумусовый. Характер и особенности почвообразования способствовали формированию генетических признаков: потечно-гумусовые (*hi*) и перегнойно-торфяные (*Th*). Под травянистой растительностью (1,5–1,7 м) на высоте более 700 м сформировались почвы отдела органо-аккумулятивные: серогумусовая глинисто-иллювиированная с мощным (21 см) серогумусовым горизонтом интенсивной буровато-серой окраски, плавно переходящий в почво-элювий. В нижней части горной тайги на высоте 252 м в березняке с примесью ели с мелкопапоротниково-зеленомошным покровом диагностирован ржавозем (отдел железисто-метаморфические). В профиле отчетливо выражена округлая гранулированная структура и иллювиирование органического вещества, признаки оглеения в нижней части профиля.

Морфогенетическая диагностика показала, что почвенный покров на хребте Чувальский камень представлен почвами различного генезиса постлитогенного почвообразования и является пестрым. В почвах диагностированы большей частью переходные признаки *ao*, *el*, *f*, *I*, *an*, *g*, *BH*, *BF*. Кроме того, отмечается процессный признак железисто-гранулированный (*gr*) в ржавоземах. Практически во всех профилях можно выделить породный признак скелетности (*sk*), предложенный [9].

Литература

1. Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. М.: Наука, 1998. 190 с.
2. Бадмаев Н.Б. [и др.] О пространственной организации почвенного покрова мерзлотной лесостепи Забайкалья // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. 2011. № 4. С. 197–200.
3. Самофалова И.А. Геомоделирование почвенного покрова на основе обобщённого пространственного анализа территории заповедника «Басеги» (Средний Урал) / ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы междунар. конф. М.: Изд-во Мос. ун-та, 2020. Т. 26, ч. 4. С. 131–146. doi: 10.35595/2414-9179-2020-4-26-110-120.
4. Samofalova I.A. Typical features of short-profile soils in the Middle Urals // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science / The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society. 2021. Vol. 862. Art. num. 012009. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/862/1/012009/pdf>. doi:10.1088/1755-1315/862/1/012009

5. Летопись природы: ежегодник заповедника «Вишерский» по результатам науч.-исслед. деятельности / Государственный природный заповедник «Вишерский»: сайт. Кн. 24 (2016/2017 гг). Красновишерск, 2018. 281 с. URL: <https://www.visher-sky.ru/ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost/letopis-prirody>.
6. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
7. Андропова М.И. Стандартные цветовые шкалы для полевого определения и кодирования окраски почв. М.: ПКО Картография, 1992. 12 с.
8. Русанова Г.В., Кюхри П. Почвы границы леса и горной тундры Приполярного Урала // Почвоведение. 2001. № 4. С. 409–417.
9. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Предлагаемые изменения в классификации почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы // Почвоведение. 2022. № 1. С. 3–14.

**СЕКЦИЯ 4
ПОЧВЕННЫЕ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ:
ПРОБЛЕМЫ УЧЁТА, ОЦЕНКИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
И ОХРАНЫ**

**SECTION 4
SOIL AND LAND RESOURCES: PROBLEMS
OF ACCOUNTING, ASSESSMENT,
USE AND PROTECTION**

УДК 631.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-33

**Горные лесные черноземовидные почвы
парково-лиственничных лесов Кузнецкого Алатау**

Т.О. Валеви́ч*, О.Э. Мерзляков

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия*

**tvalevitch@gmail.com*

Аннотация. Исследованы горные лесные черноземовидные почвы восточного и западного макросклонов Кузнецкого Алатау, формирующиеся под парково-лиственничными лесами с доминированием лиственницы сибирской. Установлено, что особый микроклимат, формирующиеся под пологом лиственницы, благоприятно влияет на почвенно-климатические условия и почвообразовательный процесс, что отражается в содержании гумуса и гумусном состоянии почв в целом, приближая их по характеристикам к черноземам равнин.

Ключевые слова: лиственничные леса, горные лесные черноземовидные почвы, лесные почвы, Кузнецкий Алатау

**Mountain forest chernozem-like soils of park-larch forests
of Kuznetsk Alatau**

T.O. Valevich*, O.E. Merzlyakov

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

**tvalevitch@gmail.com*

Summary. Mountain chernozem-like soils of the eastern and western macrosclones of the Kuznetsk Alatau, formed under park-larch forests with the dominance of Siberian larch, have been studied. It has been established that a special microclimate formed under the larch canopy favorably affects the soil-climatic conditions and the soil-forming process,

which is reflected in the humus content and humus state of the soils as a whole, bringing them closer in characteristics to chernozem of the plains.

Keywords: larch forests, mountain forest chernozem-like soils, forest soils, Kuznetsk Alatau

Почвы являются существенным компонентом лесов и лесных экосистем, поскольку участвуют в регулировании важных экосистемных процессов – поглощение питательных веществ, разложение и обеспечение водного баланса. Природный состав леса и его производительность во многом зависит именно от почвенных условий, что дает возможность проследить воздействие разных древесных пород, учесть различия в факторах почвообразования в пределах одного типа леса и влияние их на формирование почв [1, 2].

Объектами исследования выступили горные лесные черноземовидные почвы восточного и западного склонов Июсского хребта Кузнецкого Алатау, формирующиеся в парково-лиственничных лесах (*Larix sibirica*). Согласно лесорастительному районированию, исследуемая территория входит в Кузнецко-Алатауский округ подтаежно-лесостепных лиственничных и горнотаежных темнохвойных лесов и занимает северную половину Восточнокузнецко-Минусинской котловинно-горной лесорастительной провинции лиственничных и сосновых лесов, включая восточных склон Кузнецкого Алатау и Батеневский кряж. Округ слагается лиственничниками, реже соснякам осочково-разнотравной или разнотравной групп типов лесов, имеющие I–II, редко III класс бонитета [3].

Впервые на особый характер почв под лиственничными или березово-лиственничными разреженными травянистыми лесами в Алтае-Саянской горной области обратил внимание В.П. Смирнов (1910), который предложил назвать их черноземовидными [4]. Позже Б.Ф. Петров в 1952 г. опубликовал монографию о почвообразовании и почвенных ресурсах Алтае-Саянской провинции, оказавшую значительное влияние на формирование представлений о почвообразовании в экосистемах лесопокрываемых территорий горного окаймления Сибири и предопределившую направление их дальнейшего исследования. Горные лесные почвы были выделены им, как темноцветные лесные [5]. Дальнейшие исследования показали, что процесс почвообразования под лиственничными лесами с богатым травянистым лесостепным или лугово-лесным травостоем при наличии субстрата, приводит к возникновению почв, приближающихся по морфологическим признакам к черноземам [4].

Благодаря особенностям строения кроны лиственницы, которая задерживает солнечные лучи и осадки, под пологом создается особый микроклимат, характеризующийся повышенной влажностью, умеренной освещенностью и незначительно низкими температурами, в отличие от открытых участков, что усиливает интенсивность дернового процесса. Высокое проективное покрытие и мощная корневая система лиственницы объясняет густую пронизанность почвенного профиля корнями. Горные лесные черноземовидные почвы

имеют профиль АО-AU-AUB-B-BC. Мощный для горных почв тёмно-серый гумусовый горизонт всех объектов исследования достигает 30–40 см и сложен пылевато-мелкокомковатой или пылевато-зернистой структурой.

Генетической особенностью черноземовидных почв Кузнецкого Алатау служит интенсивное биогенное накопление оснований вместе с органическим веществом в условиях сухого «антициклонального» климатического режима и при наличии пород, богатых основаниями. Исследуемые почвы характеризуются слабокислой или нейтральной реакцией среды верхних горизонтов. Вниз по профилю происходит смещение pH в стороны подщелачивания (до 8,3 ед. pH), что объясняется распределением карбонатов в почвенном профиле. Содержание гумуса колеблется в пределах 13–18% резко снижаясь в половину в иллювиально-гумусном горизонте, вероятно связанное с тем, что склоновое расположение препятствует глубокому проникновению гумусовых веществ [6]. Тип гумуса верхних гумусовых толщ черноземовидных почв восточного макросклона Кузнецкого Алатау гуматный, переходящий в фульватно-гуматный или гуматно-фульватный к нижней границе. Западный макросклон характеризуется фульватно-гуматным типом гумуса, вероятнее всего из-за более гумидного климата территории, который тормозит образование гуминовых кислот.

С усилением гумидности климатических условий можно связать и распределение карбонатов по профилю исследуемых почв. Во вскрытых почвах восточного склона карбонаты кальция обнаруживаются уже на нижней границе гумусово-аккумулятивного горизонта в виде пропитки. Вниз по профилю содержание резко увеличивается и формы карбонатов уже представлены в виде псевдомицелия. Такое распределение карбонатов связано с глубоким весенне-осенним фронтальным промачиванием профиля и постепенным летним иссушением, обеспечивающий длительный период восходящих токов влаги и активную миграцию растворов [7]. На западном склоне, возможно, вследствие большего количества среднегодовых осадков и уравнивания периода промачивания-иссушения, содержание карбонатов не такое высокое, они располагаются глубже и обнаруживаются только в форме пропитки.

В верхней части почвенного профиля высокое содержание кальция, но уже в биогенной форме, связано с тем, что при разложении растительных остатков лиственницы, в почвенный раствор поступает большое количество катионов кальция [8]. Распределение по профилю дифференцированно слабо – максимальное содержание наблюдается в гумусовой толще, 50–20 мг экв/100 г почв, постепенно убывая вниз по профилю. Также, довольно сильное преобладание кальция в составе поглощенных катионов способствует формированию водопрочной зернисто-комковатой структуре. Наряду с этим, отмечается, что насыщенность опада лиственницы основаниями препятствует процессам оподзоливания [6].

Таким образом, исследованные почвы характеризуются мощным, для горных районов, гумусовым горизонтом, хорошей структурой и высокими

запасами гумуса, что позволяет оценить гумусное состояние почв как высокое, за исключением почв восточного склона с близким к поверхности залеганием карбонатов, которые говорят о повышенной физической и физиологической сухости.

Литература

1. Зонн С.В. Краткий обзор итогов по лесному почвоведению за 40 лет // Почвоведение. 1957. № 10. С. 12–19.
2. Карпачевский Л.О., Ашинов Ю.Н., Березин Л.В. Курс лесного почвоведения. Учеб. пос. для почвоведов университетов. Майкоп: Аякс, 2009. 345 с.
3. Типы лесов гор Южной Сибири / В.Н. Смагин [и др.]. Новосибирск: Наука, 1980. 334 с.
4. Ильиных Н.И. Почвы Кузнецкого Алатау. Красноярск, 1970. 159 с.
5. Петров Б.Ф. Почвы Алтайско-Саянской области. М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1952. 232с.
6. Балыкин С.Н., Ключников М.В. Почвы лиственных лесов Горного Алтая // Мир науки, культуры, образования. 2009. № 1 (13). С. 20–22.
7. Мерзляков О.Э. Почвы лиственных лесов лесостепного и среднегорного пояса Кузнецкого Алатау на примере Ширинского района республики Хакасия // Вестник КрасГАУ. 2012. № 11. С. 60–64.
8. Градобоев Н.Д. Почвы лиственных лесов Сибири // Тр. по лесному хоз-ву (Зап.-Сиб. филиал АН СССР и Зап.-Сиб. ВНИТОлес). Новосибирск, 1955. Вып. 2. С. 45–54.

УДК631.87 : 361.452

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-34

Роль многолетних трав в формировании запасов углерода и азота растительных остатков в агропочвах Красноярской лесостепи

О.А. Власенко

Красноярский государственный аграрный университет,

Красноярск, Россия

ovlasenko07@mail.ru

Аннотация. Установлено, что после уборки сена на сенокосах и в агроценозах многолетних трав в агропочвы Красноярской лесостепи в среднем поступает 8,78 тС/га и 0,31 тN/га растительных остатков, более 77% углерода и азота поступает за счет подземного растительного вещества. Отношение C/N в остатках клевера и люцерны составило 1 : 24, в остатках козлятника, эспарцета и разнотравно-злаковых сенокосов – 1 : 28 – 1 : 34, в остатках костреца – 1 : 69.

Ключевые слова: растительные остатки, углерод, азот, многолетние травы, сенокосы

The role of perennial grasses in the formation of carbon and nitrogen reserves of plant residues in agricultural soils of the Krasnoyarsk forest-steppe

O.A. Vlasenko

*Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation
ovlasenko07@mail.ru*

Summary. After harvesting hay in hayfields and agrocenoses of perennial grasses, on average 8,78 tC/ha and 0,31 tN/ha of plant residues enter the agrosoils of the Krasnoyarsk forest-steppe, more than 77% of carbon and nitrogen enters due to underground plant matter. The C/N ratio in clover and alfalfa residues was 1 : 24, in goat's rue, sainfoin and forb-grass hayfield residues – 1 : 28 – 1 : 34, in brome residues – 1 : 69.

Keywords: plant residues, carbon, nitrogen, perennial grasses, hayfields

Современная стратегия карбонового земледелия направлена на снижение выбросов парниковых газов и увеличение запасов углерода в почвах через процесс, известный как секвестрация углерода. При этом углерод, ранее поглощенный растениями в процессе фотосинтеза, фиксируется в стабильных органических соединениях в почве [1]. Эффективность секвестрации углерода в агроценозах зависит от множества факторов. Один из наиболее значимых аспектов – это химический состав растительных остатков, в частности, соотношение в них углерода и азота оказывает существенное влияние на скорость разложения. Климатические условия, определяя активность микроорганизмов, также влияют на процессы трансформации почвенного органического вещества. Разные методы обработки почвы могут существенно изменять скорость минерализации растительных остатков. Применение методов минимальной или нулевой обработки, сохранение растительных остатков, внедрение в севообороты многолетних трав и увеличение их доли в структуре посевных площадей становится важным с точки зрения увеличения запасов углерода в почвах и снижения выбросов парниковых газов [2]. По данным Государственного (национального) доклада о состоянии и использовании земель в Российской Федерации на 1 января 2024 г площадь пашни в Красноярском крае составила 3 120,2 тыс. га, площадь сенокосов 781,6 тыс. га [3]. По данным Росстата [4], в 2024 г. на территории Красноярского края площадь посевов многолетних трав составила 143,8 тыс. га или 4,6% от площади всей пашни, площадь сенокосов составляет около 14,6% от площади земель сельскохозяйственных угодий. По данным Российского сельскохозяйственного центра [5], в Красноярском крае основные площади посевов многолетних трав (87%), приходятся на бобовые: люцерну, донник, эспарцет, клевер и козлятник (галегу восточную). Злаковые травы в высеянном клине занимают лишь 13%, из них кострец безостый был высеян на 7,6% площадей.

В связи с этим, цель исследования – определить запасы углерода и азота растительного вещества, поступающих в агропочвы лесостепной зоны Красноярского края при возделывании многолетних трав и на сенокосах. Растительные образцы отбирались на территории Красноярской лесостепи с 2006 по 2024 г. Территория находится в условиях умеренного агроклиматического пояса, холодно-умеренного подпояса, характеризуется высокой амплитудой суточных и годовых температур. По теплообеспеченности Красноярская лесостепь относится к недостаточно теплomu району с суммой температур 1800–2000 °С, среднегодовое количество осадков около 360 мм, продолжительность безморозного периода 106–113 дней, ГТК – от 1,1 до 1,3 [6].

В качестве объектов исследования были выбраны производственные посевы козлятника восточного (5–8-летнего возраста), эспарцета песчаного (2–4-летнего возраста), клевера лугового (2–3-летнего возраста), люцерны гибридной (2–3-летнего возраста), костреца безостого (3–6-летнего возраста), сеяный сенокос 5–8-летнего возраста (кострец безостый 70% + люцерна гибридная 30%), а также естественные разнотравно-злаковые растительные сообщества с сенокосением. Образцы надземного растительного вещества отбирали в период максимальной продуктивности трав во время уборки сена с площадок размером 0,25 м² в 6 точках с расстоянием 30–40 м между ними. Для определения запасов надземной мортмассы все пожнивные остатки культур срезали и собирали с поверхности почвы. Запасы подземной мортмассы и корней определяли на этих же площадках на глубину 0–20 см методом монолитов размером 0,003 м³, путем отмывки их от почвы в проточной воде и последующего фракционирования на корни, крупную (> 0,25 мм) и мелкую мортмассу (< 0,25 мм). Из каждого объединенного растительного образца отбирали пробу для определения влажности и химического состава. В отобранных образцах определяли содержание влаги и сухого вещества (ГОСТ 27548-97), органического углерода (ГОСТ 27980-88) и азота (ГОСТ 13496.4-93). Математическая обработка результатов исследования проведена с использованием методов описательной статистики [7].

После уборки сена на сенокосах и в агроценозах многолетних трав в агропочвы в среднем поступает 8,78 т/га органического углерода и 0,31 т/га азота с надземными и подземными остатками (таблица). Из общих запасов 77,2% углерода и 77,4% азота поступает непосредственно в почвы за счет корней и подземной мортмассы. Среди многолетних трав максимальные запасы углерода и азота поставляют в почвы сенокосы и агроценозы козлятника 12,5–10,6 тС/га и 0,38–0,35 тN/га. В агроценозах эспарцета, клевера и люцерны формируется от 7,4 до 8,8 тС/га и 0,28–0,35 тN/га растительных остатков. Минимальные запасы углерода и азота растительных остатков образуются в агроценозе костреца и составляют около 4 тС/га и 0,1 тN/га.

Наиболее узкое углеродно-азотное соотношение характерно для растительных остатков клевера и люцерны, оно составляет 1 : 24 и характеризуется как умеренно разлагаемое, что способствует активизации обменных процессов, быстрому разложению и возврату питательных элементов в почву [8].

Запасы углерода и азота растительных остатков многолетних трав, т/га

Культура	Надземная мортмасса			Корни			Крупная мортмасса			Мелкая мортмасса		
	C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N
Галега восточная ($n = 24$)*	4,37	0,13	34,5	3,16	0,15	20,7	2,18	0,05	44,6	0,84	0,02	35,5
Эспарцет песчаный ($n = 12$)	2,83	0,09	29,8	2,16	0,09	23,2	2,23	0,05	45,1	1,58	0,05	32,3
Клевер луговой ($n = 12$)	1,98	0,09	21,5	2,90	0,14	20,2	2,19	0,08	28,9	1,09	0,04	27,2
Люцерна гибридная ($n = 12$)	1,61	0,07	22,0	2,50	0,13	18,8	2,23	0,07	29,8	1,04	0,04	26,1
Кострец безостый ($n = 24$)	1,12	0,02	69,4	1,80	0,05	37,0	0,73	0,01	85,8	0,33	0,004	82,8
Сенокос (кострец 70% + люцерна 30%), $n = 24$	0,63	0,02	29,6	4,14	0,15	27,9	4,03	0,16	25,7	1,31	0,05	27,6
Естественный сенокос (разнотравно-злаковый), $n = 24$	1,46	0,04	36,9	4,96	0,15	32,0	4,71	0,15	31,3	1,36	0,04	34,1
min	0,63	0,02	21,48	1,80	0,05	18,80	0,73	0,01	25,71	0,33	0,004	26,14
max	4,37	0,13	69,43	4,96	0,15	36,97	4,71	0,16	85,83	1,58	0,05	82,83
$\bar{X}$	2,00	0,07	34,82	3,09	0,13	25,66	2,61	0,08	41,59	1,08	0,03	37,96
Sx	1,25	0,04	16,32	1,12	0,04	6,86	1,33	0,05	20,97	0,41	0,02	20,12
$Cv, \%$	63	63	47	36	32	27	51	68	50	38	46	53

* n – количество образцов, min – минимум, max – максимум, $\bar{X}$ – средняя, Sx – стандартное отклонение, $Cv, \%$ – коэффициент вариации

Медленно разлагаемые растительные остатки с отношением C/N в пределах 1 : 28 – 1 : 34 характерны для козлятника, эспарцета и для сенокосов. Слабо разлагаемые растительные остатки формируются в агроценозе костреца с отношением C/N = 1 : 69, что способствует закреплению полимерных высокомолекулярных соединений углерода в почве. С практической точки зрения знание углеродно-азотного соотношения и доступности для разложения растительных остатков может помочь в планировании севооборотов и управлении органическими остатками. Культуры с более узким соотношением C/N, такие как клевер и люцерна, могут быть предпочтительны для активизации биологических процессов в почве и улучшения минерального питания. Растения с более широким отношением C/N (кострец, разнотравье с до-

минирующими в травостое злаковыми) способны повысить концентрацию углерода в почве, усилить его гумификацию и секвестрацию.

Литература

1. Когут Б.М. [и др.] Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода // Агрохимия. 2021. № 5. С. 3–13.
2. Кудрявцев А.Е. [и др.] Факторы, определяющие секвестрацию, депонирование, эмиссию углекислого газа в агроценозах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 1(231). С. 37–44.
3. О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2023 г.: Государственный (национальный) доклад. URL: <http://www.rosreestr.gov.ru> (режим доступа: свободный).
4. Структура посевных площадей сельскохозяйственных культур по категориям хозяйств (2004–2024 гг.) // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/45009> (дата обращения: 04.2025).
5. Более 2,5 тысяч гектаров многолетних трав апробировано в Красноярском крае // Россельхозцентр. URL: <https://rosselhoccenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/sibirskiy/krasnoyarskiy-krae/aprobatsiya-mnogoletnikh-trav-v-krasnoyarskom-krae/> (дата обращения: 04.2025).
6. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: научно-практические рекомендации / Р.В. Алхименко [и др.]. Красноярск: Поликор, 2015. 224 с.
7. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: МГУ, 1995. 319 с.
8. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.

УДК 631.46

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-35

Энзимологическая активность в торфяных почвах осушенного эвтрофного болота

Д.А. Гилёва, Е.В. Логинова, Е.В. Порохина*

Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

**porohkatrin@yandex.ru*

Аннотация. В работе представлены результаты энзимологической активности осушенных торфяных почв эвтрофного болота (Томский район, Томская область). Выявлено, что биохимические процессы протекают как в аэробной, так и анаэробной части торфяного профиля, но с разной направленностью и интенсивностью. Показано, что с глубиной снижается активность каталазы. Наибольшая активность энзимов полифенолоксидазы и пероксидазы, которые катализируют процессы гумификации, обнаружена в торфяном профиле на глубине более 50 см.

Ключевые слова: эвтрофное болото, торфяная почва, осушение, энзимы, оксидоредуктазы

Enzymological activity in peat soils of a drained eutrophic swamp

D.A. Gileva, E.V. Loginova, E.V. Porokhina*

Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russian Federation

**porohkatrin@yandex.ru*

Summary. The paper presents the results of enzymological activity of drained peat soils of a eutrophic swamp (Tomsk region). It has been revealed that biochemical processes occur in both the aerobic and anaerobic parts of the peat profile, but with different directions and intensity. It has been shown that catalase activity decreases with depth. The highest activity of polyphenol oxidase and peroxidase enzymes, which catalyze humification processes, was found in the peat profile at a depth of more than 50 sm.

Keywords: fen, peat soil, drainage, enzymes, oxidoreductases

Актуальность. Торфяные почвы – это уникальное природное образование, которое отличается разнообразием химических и физико-химических свойств. Необходимость мониторинга состояния торфяных почв является важной задачей, в связи с их антропогенной уязвимостью, особенно связанной с осушением и последующим использованием под сельскохозяйственные или лесные угодья. В Сибири мелиорируемые торфяные почвы располагаются на площади примерно 1,5 млн. га, из которых на долю лесомелиорации приходится 70% площади, рекультивированных торфяных месторождений из-под добычи торфа – 2%, а остальная площадь занята сельскохозяйственными угодьями [1]. Одним из важных показателей в развитии и функционировании торфяных почв является энзимологическая активность. Энзимы комплексно осуществляют преобразование почвенного органического вещества (процессы минерализации углеродсодержащих соединений, разрушение лигнина, гумификацию) при помощи разных многоэтапных биохимических реакций [2–4]. В настоящее время из биологических показателей особое внимание уделяется исследованию активности энзимов класса оксидоредуктаз, таких как каталаза, полифенолоксидаза и пероксидаза. Они ускоряют окислительно-восстановительные процессы в почвах, а в том числе процессы гумификации органического вещества, где главная роль отводится ферментам полифенолоксидазе и пероксидазе [5–7]. Изучение энзимологической активности, в комплексе с исследованием других свойств осушенных торфяных почв является актуальным, так как это позволит определить в дальнейшем возможные направления их рационального использования.

Цель исследований – изучение энзимологической активности в осушенных торфяных почвах эвтрофного болота на территории Томского района Томской области на примере некоторых энзимов из класса оксидоредуктаз.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов наблюдений были выбраны осушенные торфяные почвы эвтрофного болота Клюквенное (56°24' с.ш. 84°41' в.д., Томский район, Томская область). Болото располага-

ется в пределах Обь-Томского междуречья, и представляет собой крупное осоково-гипновое болото. Большая его часть сформировалась в результате заболачивания леса. Болото было осушено на площади около 1 500 га и в настоящее время осушенная его часть покрыта сетью мелиоративных каналов. Растительность пункта наблюдений представлена смешанным лесом, с преобладанием в древесном ярусе березы [8].

Мощность осушенных торфяных почв на пункте наблюдения, которые сформированы преимущественно травяным и древесно-травяным видами торфа, составляет 350 см. Подстилающие породы – пески. Степень разложения торфа изменяется от 33 до 48%, увеличиваясь с глубиной. Показатели обменной кислотности варьируют в торфяном профиле в небольших пределах ($pH_{\text{сол}} = 5,29\text{--}6,19$ ед).

Образцы почвы для исследований отбирались торфяным буром ТБГ-1 через каждые 25 см до минерального грунта. Активность ферментов в отобранных образцах изучали в трех повторностях: активность каталазы – газометрическим методом в модификации Ю.В. Круглова и Л.Н. Пароменской, активность полифенолоксидазы и пероксидазы (далее по тексту – ПФО и ПД) – по методу Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловской [5]. Лабораторные исследования проведены на базе учебно-исследовательской лаборатории БХФ Томского государственного педагогического университета. Статистическую обработку полученных результатов проводили при помощи программы Microsoft Excel.

Обсуждение результатов. Активность каталазы некоторые авторы рассматривают как показатель функциональной активности микрофлоры в разных экологических условиях. В исследуемых осушенных торфяных почвах общая каталазная активность изменяется в широких пределах: от 1,25 до 19,61 $\text{см}^3 \text{O}_2/(\text{г} \cdot 2 \text{ мин})$. При этом максимум активности фермента наблюдается в верхнем слое 0–25 см, образованном травяным видом торфа. В этом слое формируются наиболее оптимальные водно-воздушные условия, отмечается максимальное развитие корневых систем растений, аккумулируются легко-разлагаемые органические соединения и активно протекают микробиологические процессы. С глубиной активность каталазы равномерно снижается и достигает своего минимума в придонном слое. Снижение активности каталазы в торфяном профиле с глубиной отмечали ранее как на естественных, так и на осушенных эвтрофных болотах [5, 9].

Активность полифенолоксидазы (ПФО) в осушенных торфяных почвах эвтрофного болота Клюквенное фиксируется по всему профилю, но изменяется неравномерно и варьирует в небольших пределах: от 0,19 до 1,23 $\text{мг 1,4-бензохинона}/(\text{г} \cdot 30 \text{ мин})$. Неравномерное распределение по профилю активности ПФО может быть связано с наличием в торфяных почвах аэробно-анаэробных микрозон, а также с особенностями фракционного состава органического вещества. Более интенсивно процесс синтеза гумусовых веществ при участии ПФО происходит в средней части торфяного профиля (175–225 см), а также на глубине 275–300 см. Возможно, это обусловлено особенностями бота-

нического состава (вид торфа меняется с травяного на древесно-травяной), возрастом степени разложения торфа и соотношением фракций в составе органического вещества торфа с увеличением доли гуминовых кислот.

Пределы изменения активности пероксидазы (ПД) в торфяном профиле исследуемых почв составляют 3,92–24,1 мг 1,4-бензохинона/(г*30 мин). Самые высокие показатели активности ПД отмечаются в анаэробной части торфяного профиля (в слое 50–150 см, сформированном древесно-травяным видом торфа), где развиваются устойчивые восстановительные условия.

Результаты проведенных исследований соответствует литературным данным, полученным для осушенных торфяных почв эвтрофных болот [5, 10].

Закключение. Выявлено, что в осушенных торфяных почвах эвтрофного болота Клюквенное биохимические процессы преобразования органического вещества торфа осуществляются по всей глубине торфяного профиля, но с разной направленностью и интенсивностью. Это определяется разными факторами, в том числе ботаническим, и, соответственно, химическим составом торфов, слагающих торфяной профиль, степенью разложения торфа. В верхнем аэробном слое торфяных почв (0–25 см) высока активность фермента каталазы. Процессы гумификации органического вещества с большей интенсивностью протекают в анаэробной части торфяного профиля (глубже 50 см), что подтверждается значениями активности ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00161 (<https://rscf.ru/project/24-26-00161>).

Литература

1. Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России / под общ. ред. чл.-кор. РАСХН Л.И. Инишевой. Томск: ЦНТИ, 2005. 76 с.
2. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества (в естественных искусственных фитоценозах). Минск: Наука и техника, 1983. 222 с.
3. Sinsabaugh R.L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil // Soil Biol. Biochem. 2010. V. 42. P. 391–404.
4. Хазиев Ф.Х. Роль ферментативной активности в биохимическом гомеостазе в почве // Экобиотех. 2019. Т. 2, № 3. С. 230–233.
5. Инишева Л.И., Ивлева С.Н., Щербакова Т.А. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. 122 с.
6. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник академии наук РБ. 2015. № 2. С. 14–24.
7. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф. Сезонная активность почвенной пероксидазы в осушенных болотных сосняках Западной Сибири: системно-экологический анализ // Почвоведение. 2023. № 10. С. 1244–1258.
8. Сергеева М.А., Смирнов О.Н., Вершинин М.А. Программа экскурсий по болотам Томского района. Томск: Изд-во ТГПУ, 2012. 36 с.

9. Наумова Г.В. [и др.] Энзиматическая активность торфа естественной и разрабатываемой торфяной залежи // Природопользование. 2018. № 1. С. 208–215.

10. Порохина Е.В., Голубина О.А. Активность оксидоредуктаз в эвтрофных торфяных болотах Западной Сибири и Горного Алтая // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2014. Т. 5, № 1. С. 1–9.

УДК 631.4

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-36

Опыт исследования структуры почвенного покрова Красноярской лесостепи

Т.Н. Демьяненко

*Красноярский государственный аграрный университет,
Красноярск, Россия
t-demyanen@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрены морфогенетические особенности почв и топография почвенного покрова междуречья Бuzим–Миндерла в Красноярской лесостепи. Структура почвенного покрова слабоконтрастная. Присутствие эродированных компонентов увеличивает контрастность и обуславливает типизацию данного участка в категорию эрозионно-зональных. Выявлена устойчивая связь слабовыпуклых и гребневидных участков склонов с пятнистостями агрочернозёмов глинисто-иллювиальных и криогенно-мицеллярных маломощных и мелких и приуроченность к собирающим склонам агрочернозёмов глинисто-иллювиальных среднемощных и мощных.

Ключевые слова: агрочернозёмы, структура почвенного покрова, контрастность, эрозия, почвенно-ландшафтные связи

The experience of studying the structure of soil cover of the Krasnoyarsk forest-steppe

T.N. Demyanenko

*Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation
t-demyanen@mail.ru*

Summary. Morphogenetic features of soils and topography of the soil cover of the Buzim–Minderla interfluvium in the Krasnoyarsk forest-steppe are considered. The structure of the soil cover is faint contrasting. The presence of eroded components increases the contrast and determines the typification of this area into the category of erosion-zonal. A stable relationship of weakly convex and ridge-shaped sections of slopes with spots of clay-illuvial and cryogenic-micellar low-power and shallow agrochernozems and their association with collecting slopes of clay-illuvial medium-sized and powerful agrochernozems has been revealed.

Keywords: agrochernozems, soil cover structure, contrast, erosion, soil-landscape connections

Структуры почвенного покрова (СПП) являются основой для выделения элементарных ареалов агроландшафта и агроэкологической типологии земель, необходимой при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Настоящая работа ведётся в рамках комплексных исследований по выявлению и типизации СПП Красноярской лесостепи. В сообщении приведён анализ морфогенетических и топографических особенностей почв междуречья Бузим–Миндерла в её центральной части.

Красноярская лесостепь располагается в пределах Чулымо-Енисейской денудационной равнины. В формировании современного рельефа и почвообразующих пород территории основная роль принадлежит денудационным процессам, сопровождающим неоднократные тектонические поднятия. Периодическое возобновление глубинной эрозии, с одной стороны, усиливало расчленённость поверхности, с другой, способствовало разрушению и переотложению пород, слагающих территорию. В результате поверхность приобрела глубокое расчленение (амплитуды высот элементарных бассейнов (притоки Енисея I и II порядков) составляют 100–150 м), плоские водоразделы и полого-покатые склоны преимущественно восточной экспозиции, так как вся территория лесостепи обращена на восток к Енисею и формируется им и его левыми притоками. Абсолютные высотные отметки снижаются от запада к востоку с 400 до 92 м. Из дочетвертичных образований на поверхности сохранились преимущественно юрские отложения, очень локально перекрытые меловыми и палеогеновыми на самых высоких водораздельных отметках. Наиболее распространёнными почвообразующими породами являются светло-бурые иловато-пылеватые суглинки и глины, занимающие водораздельные пространства и верхние террасы.

Междуречье Бузим–Миндерла входит в холмистую часть Красноярской лесостепи. Превышение водораздела относительно уровня обеих рек на ключевом участке составляет 50 м. Ширина водораздельной части междуречья около 1 км, поверхность выпуклой формы с хорошо выраженным суффозионно-просадочным микрорельефом. Макросклоны различаются по длине и крутизне. Протяжённость северного склона составляет 900 м, общее его падение 1,3–3°, но отдельные участки имеют крутизну до 4°. Южный склон длиннее и положе, от границы водораздельной площади – 2 700 м. Наиболее крутая его часть между границей водораздела и подошвой длиной около 1 км имеет крутизну от 1,4 до 2,8°. Остальная часть, примыкающая к долине р. Бузим, очень пологая (не более 0,9°).

Для исследования структуры почвенного покрова проведено детальное почвенное обследование с применением катенарного подхода. В качестве основы использована почвенная карта территории учхоза, составленная в 1989 г. Росземпроектom института Востсибгипрозем г. Красноярск в масштабе 1 : 25 000. Картографирование осуществлялось методом дешифровочных ключей [1], типодиагностика почв – по морфогенетическим параметрам. Почвы классифицированы в соответствии с Классификацией... [2]. На основе полученных данных средствами ГИС MapInfo построена цифровая карта

СПП для водораздельной и склоновой части северного макросклона. Контрастность СПП определена по Фридланду [3].

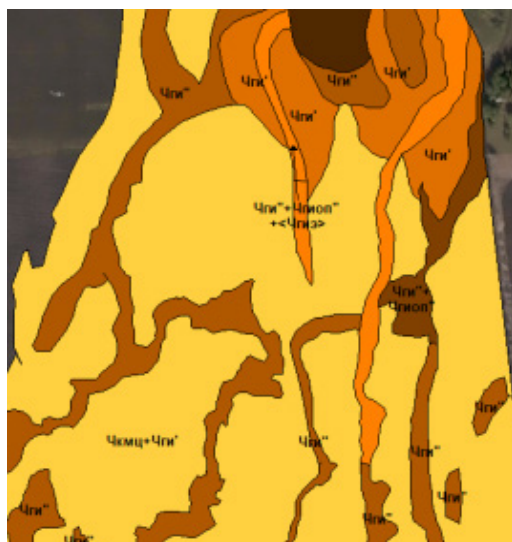
По материалам описания и выборочного анализа 78 точек опробования создана база данных почв и элементов рельефа. Методом индикационных таблиц получена модель почвенно-ландшафтных связей Почвы–Рельеф [1].

Почвенный покров водораздельной части неконтрастный и представлен пятнистостями из двух типов почв (Чкмц + Чги') (рисунок). Агрочерноземы криогенно-мицелярные мелкие (Чкмц) приурочены к микроповышениям, характеризуются мощностью гумусового горизонта от 17 до 27 см, вскипают сразу после гумусового горизонта или в нижней его части, содержат карбонатный псевдомицелиевый горизонт, имеют резкий переход между гумусовым и переходным горизонтом с ровной или карманистой границей. Агрочерноземы глинисто-иллювиальные (Чги), представленные типичным и глееватым подтипами с мощностью гумусового горизонта от 36 до 53 см, наиболее мощные располагаются на самых низких позициях и содержат погребенный гумусовый горизонт (Чги'' + 2г) с остатками перепревшей древесины, подтеки, пленки (пятна гумуса), в глееватых черноземах карбонаты вымыты за пределы вскрытой толщи, и есть признаки оглеения в виде мелких охристых пятен железа. Маломощные виды (Чги'') образуют комбинации с криогенно-мицелярными агрочернозёмами.



а

Структура почвенного покрова северного макросклона междуречья: *а* – водораздельная часть; *б* – Склоновая часть



б

Склоновая часть катены характеризуется усиленной крутизной (0,9–4 градуса) и почвенной неоднородностью с заметным участием эродированных компонентов. Основной фон – пятнистость (АЧкмц+Чги') (рис.). Линейные контуры соответствуют протяжинам. В зависимости от микрорельефа они либо полузамкнуты и являются контурами агрочернозёмов глинисто-иллювиальных типичных среднемощных (АЧги''), либо представлены открытыми линейными формами с белесоватой полосой – протяжинами с эрозион-

ными промоинами на дне. Эти контуры формируют пятнистости из агрочернозёмов глинисто-иллювиальных типичных и оподзоленных среднемощных и глинисто-иллювиальных эродированных (смытых) (до 10% от площади контура) (АЧги" + АЧгиоп" + <АЧгиз>). Более глубокие полузамкнутые понижения заняты пятнистостями среднемощных агрочернозёмов глинисто-иллювиальных типичных и оподзоленных, но без признаков смытости (АЧги" + АЧгиоп"). Их контуры изометричной и слаболопастной формы.

В целом структура почвенного покрова участка слабоконтрастная, основной фон составляют пятнистости агрочернозёмов криогенно-мицелярных и агрочернозёмов глинисто-иллювиальных типичных маломощных (25–50%). Присутствие эродированных компонентов увеличивает контрастность и обуславливает типизацию данного участка в категорию эрозионно-зональных.

Вероятность встречаемости ЭПС из мелких и маломощных криогенно-мицелярных и глинисто-иллювиальных типичных агрочернозёмов на слабо-выпуклых водоразделах и склонах составляет 0,82, что является устойчивой связью. Ведущим компонентом в такой ЭПС (пятнистости) являются агрочернозёмы глинисто-иллювиальные маломощные, доля криогенно-мицелярных составляет 25–50%.

На гребневидных склонах вероятность встречаемости подобных ЭПС составляет 1. Но здесь ведущим компонентом в пятнистости будут криогенно-мицелярные агрочернозёмы. Глинисто-иллювиальные типичные переходят на второе место с долей участия в пятнистости 25–50%.

На собирающих склонах водораздельной поверхности с вероятностью 1 можно встретить глинисто-иллювиальные агрочернозёмы, но на 0,45 – это маломощные типичные, а остальная доля распределена между среднемощными типичными, оподзоленными, глееватыми и гидрометаморфизованными.

На полого-наклонных собирающих склонах встречаются глинисто-иллювиальные среднемощные типичные агрочернозёмы (0,45), в остальную долю входят все вышеперечисленные подтипы. В западинах формируются глинисто-иллювиальные агрочернозёмы мощные, с погребённым гумусовым горизонтом или гидрометаморфизованные. Поэтому для уточнения модели почвенно-ландшафтных связей для собирающих склонов по подтипам глинисто-иллювиальных агрочернозёмов необходимы дополнительные исследования.

Литература

1. Сорокина Н.П. Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 159 с.
2. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов [и др.]. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 410 с.

Почвенно-климатическая характеристика постиригационных ландшафтов Тарханкутского полуострова

Е.И. Ергина^{1*}, М.Л. Новицкий^{1,2}, Е.А. Артемова¹

¹ *Институт «Таврическая академия» структурное подразделение
Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского,
Симферополь, Россия*

² *Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
Ялта, Россия*

^{*}¹ *ergina65@mail.com, artemova199829@mail.ru*

² *maxim.novickiy@bk.ru*

Аннотация. Представлены результаты почвенно-климатических исследований состояния ландшафтов Тарханкутского полуострова после прекращения орошения сельскохозяйственных земель днепровскими водами Северо-Крымского канала. В условиях агроландшафтов, сформированных на месте плакорных возвышенных равнин, постиригационные почвы характеризуются незначительным повышением содержания гумуса, снижением запасов полезных элементов питания растений. На динамику степени засоленности почв процесс орошения в данных почвах не оказал заметного влияния.

Ключевые слова: орошение, Тарханкутский полуостров, содержание гумуса, засоленность

Soil and climatic characteristics of post-irrigation landscapes of the Tarkhankut peninsula

E.I. Ergina^{1*}, M.L. Novitsky^{1,2}, K.A. Artemova¹

¹ *Tauride Academy of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Simferopol, Russian Federation*

² *Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian
Academy of Sciences, Yalta, Russian Federation*

^{*}¹ *ergina65@mail.com, artemova199829@mail.ru*

² *maxim.novickiy@bk.ru*

Summary. The results of soil and climatic studies of the state of landscapes of the Tarkhankut peninsula after the cessation of irrigation of agricultural lands by the Dnieper waters of the North Crimean Canal are presented. In the conditions of agricultural landscapes formed on the site of upland plains, post-irrigation soils are characterized by a slight increase in humus content and a decrease in the reserves of useful plant nutrients. The

irrigation process in these soils did not have a noticeable effect on the dynamics of the degree of soil salinity.

Keywords: irrigation, Tarkhankut Peninsula, humus content, salinity

Длительное сельскохозяйственное использование почв в агроландшафтах приводит к тому, что со временем первоначальные свойства почвенного плодородия снижаются. Почвенная система перестраивается, приобретает искусственные, зачастую не свойственные зональным закономерностям свойства. С введением в строй Северо-Крымского канала началась эра орошения Крыма. Задача оросительных мелиораций в Крыму заключалась в том, чтобы увеличить урожайность сельскохозяйственных угодий, поскольку естественные осадки покрывали потребности растений лишь на 30%. Но в 2014 г. подача воды по Северо-Крымскому каналу прекратилась. Площади орошаемых земель значительно сократились, это привело к тому, что на больших площадях ранее орошаемых земель начался новый этап эволюции почв, но на фоне установленных природных флуктуаций климата. Разнонаправленность проявления процессов на сельскохозяйственных землях равнинного Крыма определили цель данной работы: оценить изменения свойств почв в результате антропогенных воздействий на фоне природной динамики факторов почвообразования.

Территория наших исследований относится к Крымскому степному краю, Тарханкутской возвышенной области и делится на три района: Ковыльновско-Войковский, Западно-Тарханкутский, Южно-Тарханкутский [4]. Восточная граница [2] проходит по сухоречью Чатырлык, на западе крайние точки мысы Тарханкут и Кара-Мрун. Ландшафтно- и почвообразующее значение имеют сарматские и мзотические карстуемые известняки с горизонтами мергелей и глин на юго-западе, а на севере и востоке – понтические ожелезненные известняки. В котловинах и на склонах возвышений сохранились красно-бурые глины. На них или на известняках залегают лессовидные суглинки, местами маломощные и щебнистые. Геоморфологическую основу составляет Тарханкутская возвышенная равнина с характерными увалами, сильно расчленённая глубокими сухоречьями, балками, лощинами, оврагами. Климат умеренно-жаркий с мягкой зимой, очень засушливый на западе и засушливый на востоке.

По данным метеостанции Черноморское [1] и архивным данным Центра по гидрометеорологии в Автономной Республике Крым, среднегодовая температура воздуха за период с 1955 по 2024 г. равна 11,1°C. Диапазон варьирования величин среднегодовых температур на протяжении этого периода находится в пределах от 7,1 до 13,4 °C, степень варьирования незначительная, коэффициент вариации составил 7,4%. Обработка временного ряда (с 1955 по 2024 г.) показала, что в Черноморском за период с 1955 по 2024 г. среднемноголетняя сумма осадков составляет 421 мм. При значительном размахе значений от 166 мм до 868 мм. Во временном ряду степень варьирования значительная, коэффициент вариации составил 29%. Сумма осадков

вегетационного периода составляет в среднем 276,6 мм. Гидрографическая сеть Тарханкута не развита и представлена в основном балками и сухоречьями. В этой области распространены средне- и маломощные разновидности карбонатных и южных черноземов с петрофитными вариантами типичных дерновиннозлаковых бедноразнотравных степей, в настоящее время преимущественно распаханными. Подчиненную роль играют малоразвитые почвы черноземного типа с петрофитными степями, используемые как пастбища [3].

Для изучения процессов трансформации почв и ландшафтов после прекращения орошения на территории Тарханкутского полуострова в ходе экспедиционных работ была заложена трансекта, включающая ключевые участки с различными видами использования почв: 1 – ранее орошаемый (до 2014 г.), а ныне находящийся в богарном режиме – постирригационный (Гр 8); 2 – суходольный (Гр 10); и 3 – залежный (Гр 9), который являлся эталоном сравнения для изучения динамики свойств почв. Почвы участка – черноземы южные слабогумусированные тяжелосуглинистые и легкоголинистые. Наиболее плотные почвы залежного участка; почвы агроландшафтов, вследствие длительного этапа воздействия сельскохозяйственной техники, в пахотном слое более рыхлые и менее плотные. Сравнительный анализ показал, что постирригационные почвы содержат большее количество гумуса в верхних слоях (от 3,25 до 2,68%), нежели суходольные (2,25–1,89%). Залежные почвы в слое 0–40 см содержат от 3,58 до 2,12% гумуса, с глубиной его содержание снижается значительными темпами (таблица).

Свойства почв Тарханкутского полуострова

Слой, см	рН вод- ный	Гумус, %	CaCO ₃ , %	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Плотность сложения, г/см ³
				мг/кг			
Гр 8 постирригационный							
0–10	8,04	3,25	1,86	3,90	9,28	940,64	1,10
10–20	8,04	3,03	2,11	4,20	17,88	759,08	1,12
20–30	8,08	2,95	1,77	<1	31,84	325,15	1,25
30–40	8,21	2,68	9,93	<1	20,70	208,23	1,36
40–60	8,24	1,85	12,25	<1	10,12	142,80	1,38
60–85	8,40	1,14	24,08	<1	16,33	112,80	1,45
85–100	8,42	0,77	23,66	<1	1,24	92,06	1,49
110–130	8,50	–	21,97	<1	15,20	73,75	1,57
Гр 9 залежь							
0–10	8,06	3,58	4,37	8,30	25,49	989,61	1,25
10–20	8,09	2,85	4,65	17,00	21,54	851,92	1,28
20–40	8,21	2,12	5,07	4,60	16,89	363,88	1,33
40–60	8,27	1,71	9,29	<1	31,27	259,61	1,39
60–80	8,35	1,29	18,59	<1	32,68	160,71	1,46
80–100	8,52	0,82	24,92	4,10	11,39	143,64	1,54
100–120	8,44	–	24,50	3,20	19,15	116,16	1,60

Слой, см	рН вод- ный	Гумус, %	CaCO ₃ , %	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Плотность сложения, г/см ³
				мг/кг			
Гр 10 суходол							
0–10	8,26	2,25	4,51	13,50	25,63	921,91	1,12
10–20	8,20	2,09	4,08	12,30	17,60	739,08	1,15
20–40	8,30	1,89	11,83	<1	34,94	537,26	1,29
40–75	8,43	1,20	27,04	<1	20,98	286,21	1,32
75–100	8,61	0,53	25,35	<1	10,26	127,13	1,44
100–130	8,83	–	19,43	<1	8,29	111,94	1,58

Ранее орошавшиеся почвы выщелочены от карбонатов кальция в верхней части профиля до глубины 40–60 см вследствие токов дополнительной влаги на протяжении периода орошения (около 40 лет). Содержание основных питательных элементов в постирригационных почвах снижено в сравнении с почвами иных типов использования (таблица).

Анализ водной вытяжки на всех участках показал, что на всю глубину почвенного профиля почва не засолена, сумма солей не превышает 0,079% по профилю. В составе легкорастворимых солей, переходящих в водную вытяжку, присутствует наиболее токсичная для растений соль – сода – карбонат натрия.

Таким образом, длительный этап воздействия дополнительных источников влаги в условиях Тарханкутского полуострова, основу которого составляют агроландшафты, сформированные на месте плакорных возвышенных равнин, привел к формированию почв, отличающихся от зональных аналогов и почв на суходолах незначительным повышением содержания гумуса, снижением запасов полезных элементов питания растений. На динамику степени засоленности почв процесс орошения в данных почвах не оказал заметного влияния. Изменения свойств постирригационных почв проявляются и после прекращения орошения.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-20020 <https://rscf.ru/project/24-17-20020/>.

Литература

1. Климатический атлас Крыма / Приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма» / авт.-состав. И.П. Ведь. Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. 120 с.
2. Подгородецкий П.Д. Крым. Природа. Симферополь: Таврия, 1988. 192 с.
3. Половицкий И.Я., Гусев П.Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
4. Маринич О.М. [и др.] Удосконалена схема фізико-географічного районування України // Український географічний журнал. 2003. № 1. С. 16–20.

Почвенный покров территорий линий электропередач (на примере Ленинградской области)

М.К. Захарова*, Ю.Р. Моргач

*Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал
Федерального исследовательского центра «Почвенный институт
имени В.В. Докучаева», Санкт-Петербург, Россия*

** 123masha123@mail.ru*

Аннотация. Исследованы почвы и почвенный покров территорий под линиями электропередач в Ленинградской области. При строительстве ЛЭП сведена естественная растительность, частично изменен мезо- и значительно микрорельеф, уничтожена часть почв. В пределах вырубленных для ЛЭП просек почвенный покров повсеместно представлен антропогенно-измененными разностями почв, а также непочвенными образованиями. Антропогенное вмешательство нарушило сложившиеся связи между компонентами почвенного покрова, а новые комбинации ПП не в полной мере соответствуют имеющимся естественным аналогам.

Ключевые слова: линия электропередач, антропогенно-измененные почвы, почвенный покров, структура почвенного покрова, почвенные комбинации

Soil cover of power transmission line territories (on the example of Leningrad region)

M.K. Zakharova*, Yu.R. Morgach

*V.V. Dokuchaev Central Soil Museum – Branch
of the Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
Saint Petersburg, Russian Federation*

** 123masha123@mail.ru*

Summary. Soils and soil cover of territories under power lines in the Leningrad region were studied. It was found that each technological operation (logging, installation of transmission line towers, organisation of timber stacking sites, creation of temporary roads) is characterised by specific disturbances. The soil cover is represented everywhere by anthropogenically modified soil varieties, as well as non-soil formations within the studied areas. Anthropogenic interference has disturbed the already established relationships between the components of the soil cover, and new combinations of soil cover do not fully correspond to natural analogues.

Keywords: power transmission line, anthropogenically modified soils, soil cover, soil cover structure, soil combinations

Почвенный покров (ПП) антропогенно-измененных территорий характеризуется колоссальным разнообразием слагающих его компонентов. Оно обусловлено множественностью направлений хозяйственной деятельности

человека и еще большим многообразием сопутствующих им технологических операций. В настоящее время антропогенная деятельность человека затрагивает практически все почвенные разности. При этом естественный почвенный покров усложняется: появляется все больше антропогенно-трансформированных типов и подтипов почв, разрываются связи между компонентами естественного ПП, формируются новые [1]. Принимая во внимание скорость, масштаб и глубину антропогенных воздействий, проблема их оценки приобретает очень важное значение. Без понимания новых антропогенно-измененных структур почвенного покрова (СПП) и формирующихся в них связей невозможно обеспечить достоверный анализ функций ПП, а также спрогнозировать изменения экологического и ресурсного потенциалов измененных территорий [2, 3].

Для оценки изменений ПП, связанных со строительством линейно-протяженных инженерных объектов, линии электропередач (ЛЭП) было обследовано 5 участков в разных районах Ленинградской области (ЛО), крупном агропромышленном регионе с типичными для Северо-Запада России лесными экосистемами. Выявлено, что на исследованных территориях установлены опоры для воздушных ЛЭП разного напряжения. Участки отличаются продолжительностью эксплуатации линий: один заложен на свежесрубленной трассе; второй граничит с новым участком газопровода, на третьем незадолго до наших исследований произведена замена опор; два других функционировали на протяжении разного времени.

Естественные ненарушенные почвенные разности сохранились лишь за пределами участков и проложенных для ЛЭП просек. Перед строительством ЛЭП на всех участках осуществлена вырубка древесной и кустарниковой растительности, проведена полная или частичная расчистка трассы от древесины и порубочных остатков, на одном из участков проложена лежневая дорога. Тяжелой техникой уплотнены, срезаны, перемешаны органогенные и органоминеральные горизонты почв. Помимо этого, извлечены и экспонированы на поверхность минеральные горизонты почв и материал почвообразующих пород.

Наибольшие площади на всех исследованных территориях занимают антропогенно-измененные почвенные разности: турбированные, абрадированные стратифицированные подтипы естественных почв. На каждом из исследованных участков во избежание возгораний проложены противопожарные минерализованные полосы, представленные абразёмами со стратифицированными почвами и стратозёмами. Возвышающиеся над основной поверхностью после установки опор ЛЭП насыпи, а также лежневые дороги, выходы почвообразующих пород (профиль полностью срезан) диагностированы как НПО – непочвенные образования.

Все нарушения в почвенном покрове, сопутствующие строительству ЛЭП, являются причиной трансформации или разрыва уже сложившихся генетических связей между компонентами. ПП перестает функционировать как стабильная система. Изменяются характеристики СПП (состав, форма, гра-

ницы, контрастность, сложность) [1, 2]. Происходит перестройка уже сложившейся естественной СПП. Новые комбинации могут как частично соответствовать типам СПП естественных почв [4], так и не иметь естественных аналогов [1, 2, 5].

Преобладающие по площади на участках турбированные, абрадированные и стратифицированные подтипы естественных почв образуют неконтрастные почвенные комбинации изоморфной (преимущественно) и линейной форм по типу ташетов. Появление в СПП непочвенных образований обуславливает формирование контрастных комбинаций изоморфной формы с отсутствующими или слабовыраженными связями по типу мозаики. Противопожарные минерализованные полосы послужили формированию узких контрастных линейных комбинаций наиболее близким к типу комплексов из абраземов со стратифицированными почвами и стратозёмами. В центре таких полос (канав) на дне обнаружен органогенный и гумусовый материал, смытый с кавальеров дождевыми осадками – так проявляется преобладающая связь между компонентами. Стратозёмы, абраземы и непочвенные образования в области лежнёвой дороги на обводненной части одного из участков сформировали контрастную комбинацию по типу сочетания.

Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что строительство таких линейно-протяженных объектов, как линии электропередач, приводят к существенным изменениям почвенного покрова подтрассовых территорий. Установлено, что для каждой технологической операции (вырубка леса, установка опор ЛЭП, организация мест штабелевки древесины, создание временных дорог) характерны специфические нарушения в почвенном покрове [6]. На всех исследованных участках после строительства ЛЭП рельеф приобрел отличный от исходного характер: увеличился относительный перепад высот, появилась колейность, рытвины и микропонижения. Обслуживание ЛЭП (замена опор, расчистка от поросли, обновление противопожарных полос, обслуживание сети) также представляет периодически действующий антропогенный фактор, вновь возобновляющий изменения растительного и почвенного покровов. Таким образом, полного восстановления исходных биогеоценозов не произойдет, а на смягчение последствий антропогенных нарушений отдельных участков просеки может потребоваться несколько десятков лет [7, 8].

Литература

1. Сухачева Е.Ю. Почвы и почвенный покров антропогенно-преобразованных территорий: дис. ... д-ра геогр. наук. СПб, 2020. 563 с.
2. Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф. Структура почвенного покрова антропогенно-измененных ландшафтов Ленинградской области // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1140–1154.
3. Сухачева Е.Ю. [и др.] Принципы и методы создания цифровой среднемасштабной почвенной карты Ленинградской области // Науки о Земле. 2019. № 64. С. 100–113.

4. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 423 с.
5. Zakharova M.K., Morgach Y.R. Specific Features of the Soil Cover of Recreation Areas in Leningrad Oblast // Eurasian Soil Science. 2023. Т. 56 (Suppl 2). P. S202–S213.
6. Захарова М.К., Моргач Ю.Р., Сухачева Е.Ю. Трансформация почвенного покрова при прокладке высоковольтной линии электропередач // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. № 116. С. 26–42.
7. Тощева Г.П. Изменение почвенного покрова на вырубках ельников южной тайги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1988. 24 с.
8. Захарченко А.В. Антропогенно-измененные почвы просек линий электропередач: дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2000. 154 с.

УДК 631.416.2

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-39

Трансформация свойств и фосфатного состояния мерзлотных черноземов Центральной Якутии под влиянием агрогенного воздействия

О.Г. Захарова*, А.П. Чевычелов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,

г. Якутск, Россия

**olya.choma@mail.ru*

Аннотация. Исследовалось изменение свойств и фосфатного состояния мерзлотных черноземов Центральной Якутии в условиях разного режима функционирования и длительности сельскохозяйственного использования. Почва разреза 2БС-09 использовалась около 60 лет в условиях орошения и внесения удобрений, тогда как почва разреза 7Ой-04 – 20 лет в режиме богары и применения удобрений. Трансформация свойств и фосфатного состояния изучаемых почв связаны с изменением их водного режима, внесения удобрений и дефляции.

Ключевые слова: криолитозона, мерзлотные черноземы, состав и свойства, общий фосфор, минеральный фосфор

Transformation of the properties and phosphate state of permafrost chernozems of Central Yakutia under the influence of agrogenic impact

O.G. Zakharova*, A.P. Chevychelov

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS,

Yakutsk, Russian Federation

**olya.choma@mail.ru*

Summary. The change in the properties and phosphate status of permafrost chernozems of Central Yakutia under different modes of functioning and duration of agricultural use was studied. The soil of section 2BC-09 was used for about 60 years under

irrigation and fertilization, while the soil of section 70й-04 as such was used for 20 years under the dry-farming regime and application of fertilizers. The transformation of the properties and phosphate status of the studied soils is associated with changes in their water regime, application of fertilization and deflation.

Keywords: cryolithozone, permafrost chernozems, composition and properties, total phosphorus, mineral phosphorus

Наши исследования проводились на Средней Лене, на территории Центрально-Якутской аллювиальной равнины. Здесь в свое время были заложены два разреза мерзлотных черноземов обыкновенных на пахотных угодьях, которые отличались как временем, так и характером сельскохозяйственного использования.

Разрез 70й-04 был заложен на гривном повышении II надпойменной террасы р. Лена, в окрестностях пос. Ой Хангаласского района Республики Саха (Якутия), на полевом участке «Холбуя». Географические координаты места заложения разреза: широта – $61^{\circ}28'24,0''N$, долгота – $129^{\circ}30'43,2''E$, абсолютная высота местности (h) – 103,8 м над ур. м. Морфологическое строение профиля: Аа(0–20) – АВ(20–42) – Вса(42–54) – ВСса(54–86) – С(86–136 см). Почва: мерзлотный чернозем обыкновенный, пашня (черный пар).

Разрез 2БС-09 заложен на гриве II надпойменной террасы р. Лена, в окрестностях г. Якутск, на территории Якутского ботанического сада ИБПК СО РАН. Географические координаты: $61^{\circ}01'15,8''N$, $129^{\circ}36'58,4''E$, h – 100,3 м над ур. м. Строение профиля: Аа(0–26) – АВ(26–52) – В(52–67) – ВСса(67–100) – Сса(100–146 см). Почва: мерзлотный чернозем обыкновенный, пашня с посадками картофеля.

Почва разр. 70й-04 использовалась около 20 лет, в основном под кормовые культуры в режиме богары, с внесением полного минерального удобрения $N_{60}P_{60}K_{60}$. В то время как почва разр. 2БС-09 использовалась около 60 лет в режиме орошаемой пашни под кормовые (овес) и овощные (картофель) культуры с ежегодным внесением аналогичной дозы полного минерального удобрения, а иногда и навоза КРС (один раз в 3–4 года) в дозе 40 т/га. Поливная норма за вегетационный период составляла около 300–400 м³/га в зависимости от метеорологических условий года.

Климат исследуемого региона характеризуется в основном как резко континентальный, холодный и криоаридный, при этом среднегодовая температура отрицательная и составляет $-10,3^{\circ}C$, среднегодовое количество осадков – 234 мм, количество осадков за вегетационный период – 134 мм, испаряемость – 502 мм, коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову – 0,3, коэффициент континентальности – 302 и сумма активных t – $1565^{\circ}C$ [1].

Физико-химические показатели исследуемых почв определялись по принятым в почвоведении методикам [2]. Общий фосфор определяли методом прокаливания по Сандерсу и Вильямсу, органический фосфор – по разнице общего количества фосфора и суммарного содержания его минеральных форм, выделяемых по методу Чанга–Джексона [3]. Количественное определение фосфатов в данных вытяжках осуществляли фотометрическим методом на фотоколориметре КФК-3-ЗОМ.

В ходе длительного сельскохозяйственного использования чернозема разр. 2БС-09 на фоне орошения, свойства данной почвы существенно изменились по сравнению с таковой разр. 7Ой-04 (табл. 1). Последнее явилось, главным образом, следствием изменения водного режима данных почв, практикой применения удобрений и дефляции. Так, если водный режим чернозема на богаре исходно определялся как криогенно-выпотной [4], то орошаемой почвы данного типа – уже как периодически промывной. В почве разр. 2БС-09 CaCO_3 отмыт на большую глубину в гор. ВСса, тогда как в черноземе разр. 7Ой-04 максимум содержания CaCO_3 , как обычно, отмечается выше – в гор. Вса. По этой же причине в изучаемых почвах отмечается существенно разное суммарное количество поглощенных катионов и солей. Так, если в орошаемом черноземе разр. 2БС-09 в слое 0–50 см фиксируется средневзвешенное содержание суммы обменных катионов и суммы солей, составляющие соответственно 16,2 ммоль(экв)/100 г почвы и 0,067%, то в почве разр. 7Ой-04, сформированной на богаре, таковые были значительно выше, почти в 2 раза, и равны 31,5 ммоль(экв)/100 г почвы и 0,125%. Увеличение гидролитически щелочных солей, т.е. в основном Na_2CO_3 , во второй почве по сравнению с первой также закономерно приводит здесь к возрастанию общей щелочности и повышению средневзвешенного значения $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ в данном слое соответственно с 7,3 до 7,9. Повышение средневзвешенного количества гумуса в этом слое данных почв соответственно с 3,4 до 4,0% нужно связывать с прогрессивной практикой применения органических удобрений и сидератов, а понижение содержания частиц физической глины (<0,01 мм), соответственно с 21,7 до 15,5%, – с многолетним негативным проявлением на пашне дефляции, или процессом ветровой эрозии, на что ранее уже указывалось [1].

Таблица 1

Физико-химические свойства мерзлотных черноземов Центральной Якутии

Гори- зонт	Глуби- на, см	pH _{н2о}	Гумус, %	Обменные катионы, ммоль(экв)/100г почвы			Содержание частиц, <0,01 мм, %	Сумма солей, %	CaCO ₃ , %
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺			
Чернозем обыкновенный, разр. 7Ой-04									
Aa	5–15	6,6	5,3	23,2	2,7	1,8	20,5	0,074	Н.о.
AB	30–40	7,6	2,3	22,5	1,3	1,2	23,3	0,100	–/–
Bca	43–53	8,5	1,4	39,6	17,1	2,3	20,4	0,324	17,7
BCsa	65–75	8,7	1,0	38,6	20,5	3,8	22,9	0,386	10,9
C	120–130	8,8	0,9	12,7	5,7	1,9	25,0	0,173	Н.о.
Чернозем обыкновенный, разр. 2БС-09									
Aa	8–18	7,9	4,2	9,1	4,6	1,8	15,6	0,045	Н.о.
AB	30–40	8,0	3,7	9,1	4,1	2,1	15,3	0,090	–/–
B	55–65	8,7	1,7	6,6	4,6	2,0	20,6	0,094	–/–
BCsa	80–90	8,7	1,3	8,7	5,1	2,3	25,0	0,129	12,0
Csa	101–107	9,0	–	–	–	–	11,8	0,080	7,9
Csa	110–120	8,9	–	–	–	–	15,1	–	7,3

Примечание. Прочерк – не определено, н.о. – не обнаружено.

Многолетняя, но разная по времени, практика применения минеральных, в том числе и фосфорных, удобрений на изучаемых мерзлотных почвах привела к заметным различиям, наблюдаемым в их фосфатном состоянии. Так, более длительное внесение удобрений в почву разр. 2БС-09 способствовало здесь увеличению как общего средневзвешенного количества фосфора, так и органических и минеральных форм данного элемента, соответственно почти в 2, 1,5 и 2 раза (табл. 2).

Таблица 2

Содержание фосфора в мерзлотных черноземах Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Р общий, мг Р ₂ О ₅ /100 г почвы	Р органический		Р минеральный	
			мг Р ₂ О ₅ /100 г почвы	% от общего	мг Р ₂ О ₅ /100 г почвы	% от об- щего
Чернозём обыкновенный, разр. 7Ой-04						
A	5–15	108,7	92,6	85	16,1	15
AB	30–40	110,1	91,4	83	18,7	17
Bca	43–53	103,8	84,7	82	19,1	18
Bca	65–75	67,5	52,2	77	15,3	23
C	120–130	70,5	58,1	82	12,4	18
	Среднее*	84,7	69,5	82	15,2	18
Чернозём обыкновенный, разр. 2БС-09						
Aa	8–18	170,5	84,6	50	85,9	50
AB	30–40	196,0	79,3	40	116,7	60
B	55–65	128,0	66,2	52	61,8	48
BCca	80–90	141,0	114,9	81	26,1	19
Cca	110–120	159,5	127,7	80	31,8	20
	Среднее*	160,5	102,2	64	58,3	36

* Средневзвешенное содержание для почвенного профиля.

При этом в гумусовом профиле (гор. Аа + АВ + В) более длительно используемой почвы разр. 2БС-09 произошла существенная минерализация ор-ганофосфатов, которые здесь относительно составляли всего 40–52%, тогда как в таковой, менее используемой во времени почве разр. 7Ой-04, количество последних было значительно выше и изменялось в пределах 82–85%.

В изучаемых почвах также произошло значительное изменение как общего количества, так и соотношения различных фракций минеральных фос-фатов, при этом в более длительно используемом черноземе разр. 2БС-09 возросло средневзвешенное содержание рыхлосвязанных фосфатов, АІ-Р и Са-Р соответственно почти в 9, 2 и 3 раза по сравнению с таковым разр. 7Ой-04.

Литература

1. Чевычелов А.П., Скрыбыкина В.П., Васильева Т.И. Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.
2. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 272 с.

3. Агрохимический метод исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
4. Еловская Л.Г., Коноровский А.К., Саввинов Д.Д. Мерзлотные засоленные почвы Центральной Якутии. М.: Наука, 1966. 274 с.

УДК 631.4:504.54(574)

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-40

Деградационные процессы в Северном Казахстане как одно из следствий нерегламентированного освоения целинных и залежных земель

Г.Ж. Исмуканова

*НАО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина»,
Астана, Казахстан
Gulzhamal_zh@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена актуальной экологической проблеме – опустыниванию земель в Северном Казахстане. Рассматриваются основные причины и факторы, способствующие деградации почв, включая как природные, так и антропогенные воздействия. Приведены данные оценки степени деградации черноземных и каштановых почв района исследования, использовались следующие показатели: содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, запасы гумуса.

Ключевые слова: опустынивание, деградация почв, аридизация, эрозия, засоление, техногенное воздействие

Degradation processes in Northern Kazakhstan as one of the consequences of unregulated development of virgin and fallow lands

G.Zh. Ismukanova

*S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Astana Sity, Kazakhstan
Gulzhamal_zh@mail.ru*

Summary. The article is devoted to an urgent environmental problem – desertification of lands in Northern Kazakhstan. The main causes and factors contributing to soil degradation, including both natural and anthropogenic impacts, are considered. The following indicators were used to assess the degree of degradation of chernozem and chestnut soils in the study area: humus content, humus horizon thickness, and humus reserves.

Keywords: desertification, soil degradation, aridization, erosion, salinization, technogenic impact

Введение. Процесс опустынивания остаётся одной из наиболее значимых глобальных экологических проблем. Причинами служат как природные (засухи, климатическая аридизация), так и антропогенные факторы (нерацональное землепользование, техногенное воздействие). Его последствия затрагивают как природные экосистемы, так и социально-экономическое развитие территорий.

На этапе освоения целинных и залежных земель территории Северного Казахстана оказались почти полностью распаханными, чему в значительной степени способствовали равнинный характер рельефа и плодородные почвы. Наряду с черноземами вовлекались в сельскохозяйственный оборот различные солонцовые комплексы. Вырубка лесных массивов на значительных территориях, отвальная вспашка плугом с оборотом пласта и боронование привели к развитию дефляции, а, следовательно, к процессам дегумификации. Произрастающая на пашне культурная растительность в ходе своей жизнедеятельности за вегетационный период выносит значительное количество минеральных и органических веществ, что обуславливает резкое сокращение питательных веществ, в результате которого требуется дополнительное внесение химических удобрений, приводящее к деградации почв [1].

Материалы и методы исследования. Согласно почвенно-географическому районированию, район исследования относится к степной зоне обыкновенных и южных черноземов, обыкновенных среднемощных и южных средне- и маломощных черноземов [2].

Условия для развития опустынивания создают нарушения сезонных особенностей почвообразования при воздействии засух. Иссущение почв весной и летом, промерзание зимой способствуют прогрессирующему развитию дефляции и засоления. Слабая сформированность почвенно-растительного покрова (особенно на песках) и его динамичность также являются природной предпосылкой опустынивания.

Всего было отобрано 136 образцов почв, в которых проводились физико-химические анализы по общепринятым методикам [3]. Камеральная обработка материалов полевого обследования проведена в соответствии с «Инструкцией по проведению крупномасштабных почвенных изысканий земель Республики Казахстан» [4].

Систематическая принадлежность почв определена, согласно классификации почв России (2004). Объекты исследования относятся к типу черноземных почв и аккумулятивно-карбонатных малогумусовых почв, к типу каштановых [5].

При детальном изучении черноземов и каштановых почв выявлен ряд принципиальных различий в морфологическом строении. К общим признакам обеих почв можно отнести высокую плотность и твердость горизонтов, языковатость гумусового горизонта, наличие карбонатов и гипсовых новообразований (рис. 1, 2)



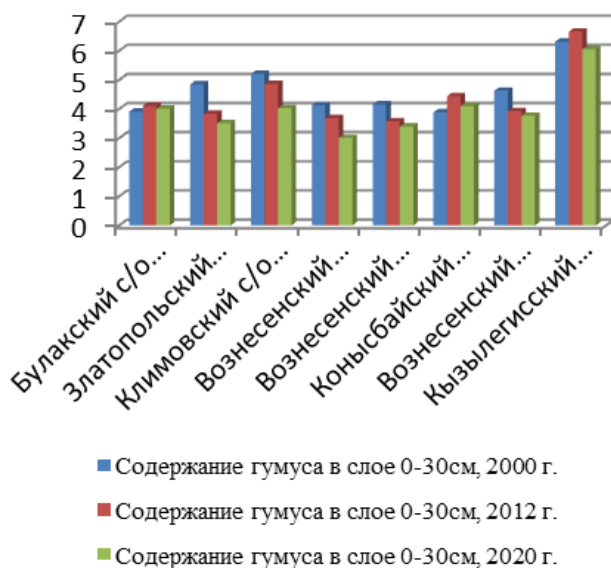
Рис. 1. Р.1-15 Чернозем обыкновенный карбонатный среднетолстый среднесуглинистый



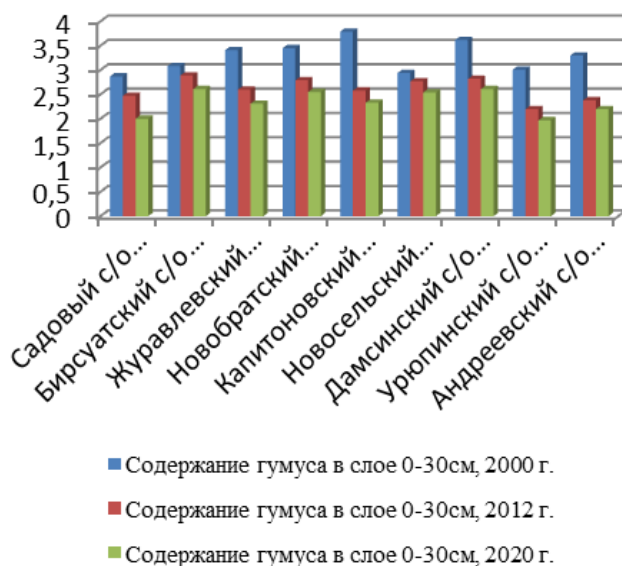
Рис. 2. Р.1-17 Каштановая типичная среднетолстая тяжелосуглинистая почва

Результаты исследований. Для оценки степени деградации черноземных и каштановых почв района исследования использовались следующие показатели: содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, запасы гумуса.

Результаты мониторинга земель Северо-Казахстанской области в период с 1994 по 2020 г. отражены в диаграмме (рис. 3. а, б).



а



б

Рис. 3. Динамика содержания гумуса в пахотном горизонте почв: а – чернозем обыкновенный карбонатный среднесуглинистый, 2000–2020 гг.; б – каштановая типичная среднесуглинистая почва, 2000–2020 гг.

Обследована пашня в 2015 г. на территории, равной 3,5 млн га, что составляет 65% от общей ее площади (почти 5,4 млн га). Пахотные угодья региона расположены в основном в зоне черноземов обыкновенных, черноземов южных, темно-каштановых, каштановых и светло-каштановых почв, что позволяет из года в год получать неплохие урожаи. Результаты агрохимического обследования показали, что почвы с низким (менее 4%) содержанием гумуса, занимают более 2,7 млн га (77,6%). Средневзвешенное содержание гумуса в почвах в настоящее время составляет 3,2%, в том числе: в черноземах обыкновенных – 4,8% при исходном содержании 7,5%, в черноземах южных – 3,7% при исходном содержании 5,5% [6]. Самые бедные почвы по содержанию гумуса в районах Егиндыкольском – 211 тыс. га, Коргалжынском – 96 тыс. га, Астраханском – 193 тыс. га, Целиноградском – 301 тыс. га. Все это так называемая зона каштановых почв. Но плодородие почв зависит от многих веществ, в т.ч. легкогидролизуемого азота. Почвы с содержанием менее 40 мг/кг этого вещества занимают 1,3 млн га или 38% от площади обследованной пашни. Все остальные земли отличаются средним (41–50 мг/кг) и высоким (более 50 мг/кг) содержанием азота. Почвы с высоким содержанием легкогидролизуемого азота расположены в черноземной зоне. В зоне каштановых почв уровень обеспеченности азотом средний и низкий. Это Аршалынский, Егиндыкольский, Атбасарский, Жаксынський и Жаркаинский районы [7].

Выводы

1. Почвенные обследования, показали, что на черноземных и каштановых почвах Северного Казахстана наблюдается процесс дегумификации. В черноземе обыкновенном средневзвешенное содержание гумуса в почвах в настоящее время составляет 3,2%, в том числе: в черноземах обыкновенных – 4,8% при исходном содержании 7,5%, в черноземах южных – 3,7% при исходном содержании 5,5%.

2. В черноземных и каштановых почвах Северного Казахстана под влиянием хозяйственной деятельности происходит уменьшение мощности гумусового горизонта (А+В) в среднем на 10 см, с 40–50 см в целинных почвах до 20 см на пашнях (см. рис. 1, 2). Почвы с умеренными запасами гумуса (55–64 т/га) составляют до 35%.

3. В результате длительного (1956–2020 гг) использования черноземных и каштановых почв в основном под зерновые культуры наблюдается нарушение структуры почв (от крупнокомковатой к комковато-пылеватой), что способствует ухудшению водопрочности почвенных агрегатов и повышению подверженности ветровой эрозии.

Автор благодарит своего научного руководителя Л.И. Герасько за профессиональные рекомендации, конструктивную критику и вдохновение, оказанные в процессе исследования.

Литература

1. Акмолдаева Б.К., Зулпыхаров К.Б., Хамидов Н. Экологическое состояние земельных ресурсов Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. 2015. № 3. С. 182–189. URL: <https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/482> (дата обращения: 15.06.2025).
2. Клебанович Н.В., Ефимова И.А., Прокопович С.Н. Почвы и земельные ресурсы Казахстана: учеб. материалы для студентов. Минск: БГУ, 2016. 46 с.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв: учеб. пособ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
4. Инструкция по проведению крупномасштабных почвенных изысканий земель Республики Казахстан. Алматы, 1995. 85 с.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235 с.
6. Боровский В.М., Успанов У.У., Шувалов С.А. Основные черты почвенного покрова и земельные ресурсы Казахстана // Почвенные исследования в Казахстане. Алма-Ата, 1964. С. 11–55.
7. Редков В.В. Почвы Целиноградской области: автореф ... дис. канд. с.-х. наук. Алма-Ата, 1964. 32 с.

УДК 631.48

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-41

Влияние осушения и пирогенного воздействия на физико-химические свойства торфяных олиготрофных почв южной тайги Западной Сибири

Р.Т. Кожамберлиева^{1*}, Т.В. Раудина¹, Л.Г. Никонова²

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

² *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия*

* *railua43@gmail.com*

Аннотация. Изучено влияние осушения и пирогенного фактора на изменение физико-химического состава и свойств торфяных олиготрофных почв южной тайги Западной Сибири. Показано, что данные факторы приводят к изменению почв в сторону их деградации. Происходит изменение водно-воздушного, термического режимов торфяных почв и вследствие этого изменяется их состав и свойства. Уменьшается кислотность почв и увеличивается зольность, ускоряются процессы разложения органического вещества и минерализации, изменяются физические свойства почв. Результаты исследования подчёркивают уязвимость торфяных почв к антропогенным воздействиям, а также их важное значение для прогнозирования изменений углеродного баланса.

Ключевые слова: торфяные олиготрофные почвы, осушение, пирогенное воздействие, зольность, кислотность, углеродный цикл, Западная Сибирь

The impact of drainage and pyrogenic effects on physicochemical properties of Dystric Hemic Histosols in the southern taiga of Western Siberia

R.T. Kozhamberlieva^{1*}, T.V. Raudina¹, L.G. Nikonova³

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

* railua43@gmail.com

Summary. The impact of drainage and pyrogenic factors on changes in the physicochemical composition and properties of Dystric Hemic Histosols in the southern taiga of Western Siberia has been studied. It is shown that these factors lead to changes in soils towards their degradation. There is a change in the water-air and thermal regimes of Histosols and, as a result, their composition and properties change. Soil acidity decreases and ash content increases, the processes of organic matter decomposition and mineralization accelerate, and the physical properties of soils change. The results of the study emphasize the vulnerability of peat soils to anthropogenic impacts, as well as their importance for predicting changes in the carbon balance.

Keywords: oligotrophic peat soils, drainage, pyrogenic impact, ash content, acidity, carbon cycle, Western Siberia

В Западной Сибири, отличающейся высокой заболоченностью (до 70–80% в отдельных районах), широкое распространение имеют торфяные почвы, являющиеся уникальным экосистемным ресурсом и одним из важных компонентов углеродного цикла [1–3]. В условиях антропогенной нагрузки, проявляющейся на данной территории в виде осушения и пирогенеза [4–6], особую актуальность приобретает изучение последствий таких воздействий на трансформацию состава и свойств торфяных почв. Так, происходит потеря органического вещества, изменение направленности биогеохимических процессов и гидротермического режима, что, в свою очередь, приводит к деградации торфяных почв. Поэтому, целью данного исследования явилось изучение воздействия осушения и пирогенного фактора на трансформацию состава и свойств торфяных олиготрофных почв южной тайги Западной Сибири.

Рассматриваемый район исследований расположен на Бакчар-Иксинском и Икса-Шегарском междуречьях, в пределах восточных отрогов Васюганского болота, залегающего на мощной толще плотных водонепроницаемых глинистых карбонатных отложений. Климат характеризуется континентальностью с избыточным увлажнением и недостаточной теплообеспеченностью [7, 8]. Объектами исследования послужили торфяные почвы болотных массивов «Бакчарское» и «Иксинское» подзоны южной тайги Западной Сибири: торфяная олиготрофная глеевая типичная (P1) естественного (фонового) ненарушенного участка (56°52'31.7" с.ш.; 82°48'27.3" в.д.), торфяная олиготрофная иловаторфяная (P2) осушенного участка (56°53'33.3" с.ш.; 82°51'08.0" в.д.), а также две торфяные олиготрофные пирогенные почвы (P3 и P4) разных стадий вос-

становления (56°51'42.1" с.ш.; 83°17'53.0" в.д. и 56°52'03.4" с.ш.; 83°11'52.1" в.д. соответственно).

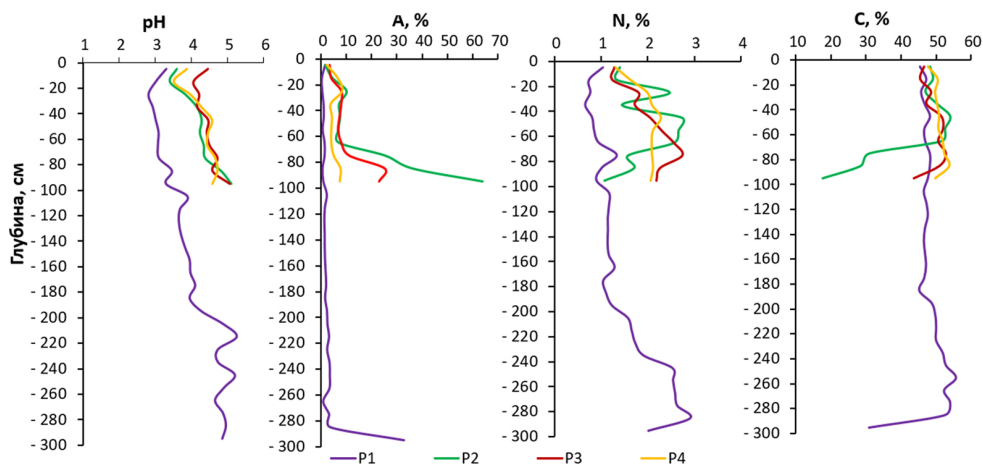
Согласно болотному районированию, район относится к Бакчарскому южно-таежному округу олиготрофных грядово-мочажинных и сосново-кустарничково-сфагновых болот [9]. Бакчарское болото, где заложены разрезы Р1 и Р2, представлено как естественными, так и антропогенно-нарушенными сосново-кустарничково-сфагновыми фитоценозами (высокий рям). Естественный рям по основным фитоценотическим и гидрологическим характеристикам можно отнести к типичным рямам олиготрофных болот Западной Сибири. Осушенный рям расположен на окраине Бакчарского болота, в непосредственной близости к осушительному каналу, что предопределяет низкий уровень болотных вод ($(48,5 \pm 8)$ см). На территории Иксинского болота, где заложены разрезы Р3 и Р4, дополнительно выбрано два сосново-березово-пушицево-сфагновых фитоценоза находящихся на разной степени постпирогенной сукцессии.

Образцы почвы были отобраны из кернов, полученных путём механизированного бурения с шагом отбора 10 см. В предварительно высушенных до воздушно-сухого состояния пробах определены: зольность, методом сухого озоления; pH, потенциометрическим методом в суспензии (pH-метра Mettler Toledo, Швейцария); общий углерод и азот, методом высокотемпературного окисления на элементном анализаторе (CNSH-O, VELP Scientifica, Италия). Статистический анализ данных проведен с использованием пакета STATISTICA 12 «StatSoft» (США). При сравнении состава и свойств почв использован *U*-критерий Манна–Уитни. Результаты считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Полученные результаты показали значимые различия ($p < 0,05$) в физико-химических показателях между рассматриваемыми почвами, что указывает на их трансформацию при антропогенных воздействиях (рисунок). Так, в почвах ненарушенных экосистем наблюдается выраженная вертикальная дифференциация: верхние 100 см с преобладанием сфагнового торфа характеризуются минимальной зольностью (0,3–3,7%), которая постепенно возрастает с глубиной, достигая 32,8% в контактной зоне с минеральным горизонтом (290–300 см). В свою очередь, осушение и пирогенное воздействие увеличивают зольность в более чем в 2 раза (5,23–7,08%). При этом, несмотря на возрастающие значения, данный показатель оказался ниже, чем, например, в торфах Европейской части России [10].

Кислотно-основные свойства демонстрируют тесную положительную связь с процессами золообразования ($r^2 = 0,72$). Естественные почвы отличаются сильнокислой реакцией ($pH_{H_2O} = 2,82–5,26$). Осушение и пожары приводят к снижению кислотности на 1,5 единиц вследствие накопления зольных элементов, изменения гидрологического режима, что способствует нейтрализации органических кислот минеральными компонентами. Следует отметить, что степень изменения кислотности зависит от продолжительности осушения и интенсивности землепользования. Исследования осушенных торфяников

Западной Сибири, а также подверженных пирогенезу в Восточной Сибири показали, что значения pH могут увеличиваться до 4,0–5,5 [11, 12].



Физико-химические параметры почв: P1 – Торфяная олиготрофная глеевая типичная (естественная); P2 – Торфяная олиготрофная иловато-торфяная (осушенная); P3 – Торфяная олиготрофная пирогенная; P4 – Торфяная олиготрофная пирогенная

Распределение содержания углерода характеризуется следующими особенностями: высокое содержание общего углерода (45–55%) при всех типах воздействий; образование устойчивых углеродных соединений при пирогенезе; снижение соотношения C/N с $49,6 \pm 14,2$ до 25,2–25,7, свидетельствующее об ускорении минерализации органического вещества и изменении его качества.

Полученные данные позволяют сделать вывод о значительной трансформации торфяных олиготрофных почв под влиянием осушения и пирогенного воздействия в сторону их деградации. Наблюдаемые изменения физико-химических свойств указывают на глубокую перестройку почвенных процессов, что необходимо учитывать при разработке мер по охране и рациональному использованию болотных экосистем Западной Сибири. Результаты исследования имеют важное значение для прогнозирования изменений углеродного баланса в условиях антропогенного воздействия и могут быть использованы при разработке стратегий управления углеродным балансом в условиях изменяющегося природопользования.

Исследование проведено в рамках государственного задания ЛМУБНЭС ИМКЭС СО РАН «Потоки и баланс углерода в лесных и болотных экосистемах юга таёжной зоны Западной Сибири: комплексный мониторинг, анализ и прогноз» (FWRG-2025-0002, № 1024100800092-1).

Литература

1. Kirpotin S.N. [et al.] Great Vasyugan Mire: How the world's largest peatland helps addressing the world's largest problems // *Ambio*. 2021. Vol. 50. P. 2038–2049.

2. Inisheva L.I. Vasyugan mire. Natural conditions, structure and functioning. Tomsk: Tomsk state ped. univ., 2011. 158 p.
3. Mikhaltchuk A. [et al.] Assessment of greenhouse gas emissions into the atmosphere from the northern peatlands using the Wetland-DNDC simulation model: A case study of the Great Vasyugan Mire, Western Siberia // Atmosphere. 2022. Vol. 13, № 12. P. 2053.
4. Синюткина А.А., Гашкова Л.П., Харанжевская Ю.А. Пирогенное изменение болотной растительности и торфа в Западной Сибири // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2024. № 1. С. 78–88.
5. Синюткина А.А. Оценка трансформации торфяной залежи осушенных верховых болот юго-восточной части Западной Сибири // Геосферные исследования. 2020. № 1. С. 78–87.
6. Синюткина А.А. [и др.] Современное состояние антропогенно нарушенных болот юга Томской области // Географический вестник. 2025. № 1 (72). С. 6–19.
7. География Томской области / под ред. А.А. Земцова. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. 246 с.
8. Ландшафты болот Томской области / Н.С. Евсеева [и др.]; под ред. Н.С. Евсеевой. Томск: Изд-во НТЛ. 2012. 400 с.
9. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / О.Л. Лисс [и др.]. Тула: Гриф и Ко, 2001. 584 с.
10. Ахметьева Н.П. [и др.]. Трансформация антропогенно нарушенных торфяных болот в новый тип ландшафта в центральных районах Европейской части России // Труды Инсторфа. 2019. № 20 (73). С. 3–10.
11. Инишева Л.И. Болотоведение: учебник для вузов. Томск: Изд-во Томского государственного педагогического университета, 2009. 210 с.
12. Гродницкая И.Д. [и др.] Влияние лесных пожаров на микробиологические свойства торфяных олиготрофных почв и торфяно-подзолов глеевых в болотах северной части Сым-Дубчесского междуречья (Красноярский край) // Почвоведение. 2022. № 4. С. 454–468.

УДК 631.417.1

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-42

Динамичность почвенного органического вещества в коренных темнохвойных лесах юга таёжной зоны Западной Сибири на разных стадиях сукцессии

А.М. Крупин*, А.Н. Никифоров

Институт мониторинга климатических и экологических систем

СО РАН, Томск, Россия

** krupinam@rambler.ru*

Аннотация. В работе приведены результаты исследования почв Томь-Яйского междуречья в ключе изменчивости их свойств, маркирующих сукцессионные процессы. Полученные результаты свидетельствуют о последовательной смене компонентов биогеоценоза после воздействия фактора, его нарушающего. Изученные объ-

екты представляют собой пространственный сукцессионный ряд, охватывающий стадии от ненарушенного (естественного) темнохвойного леса до вторичнопроизводного.

Ключевые слова: серые почвы, сукцессионный ряд, биогеоценоз, деградация древостоя, Западная Сибирь, почвенное органическое вещество

Dynamics of soil organic matter in the indigenous dark coniferous forests of the southern taiga zone of Western Siberia at different stages of succession

A.M. Krupin*, A.N. Nikiforov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

** krupinam@rambler.ru*

Summary. The paper presents the results of a study of the soils of the Tom-Yaysky interfluvium, in the key of the variability of their properties, marking the succession processes. The results obtained indicate a consistent change in the components of biogeocenosis after exposure to a factor that violates it. The studied objects represent a spatial succession series covering the stages from undisturbed (natural) dark coniferous forest to secondary-derived.

Keywords: gray soils, successional series, biogeocenosis, degradation of forest stand, Western Siberia, soil organic matter

Особый научный интерес представляют исследования трансформации органического вещества, особенно в почвенном профиле. Эти изменения происходят в сравнительно короткий период времени [1]. В качестве факторов этих изменений могут выступать техногенное воздействие, неблагоприятные климатические и почвенные условия, перестойный древостой, распространение грибковых и бактериальных заболеваний и вспышки насекомых-вредителей. Каждый из указанных факторов или их совокупность могут оказывать влияние на пространственную организацию биогеоценоза (БГЦ).

Сукцессия представляет собой закономерный процесс постепенной смены БГЦ, последовательно развивающихся на определенной территории. Особенности и направленность восстановительных процессов почвенно-растительного комплекса после нарушения естественной динамики развития определяются комплексом природных и антропогенных факторов. Для лесной зоны юга Западной Сибири эдификаторами выступают пихта, кедр и ель. Они затеняют подпоговое пространство, тем самым обуславливая процессы лессиважа и оподзоливания, а также создавая кислую среду почв. При зогенных сукцессиях возможно формирование климаксных смешанных елово-лиственных, чаще всего с березой и осиной, лесов [2].

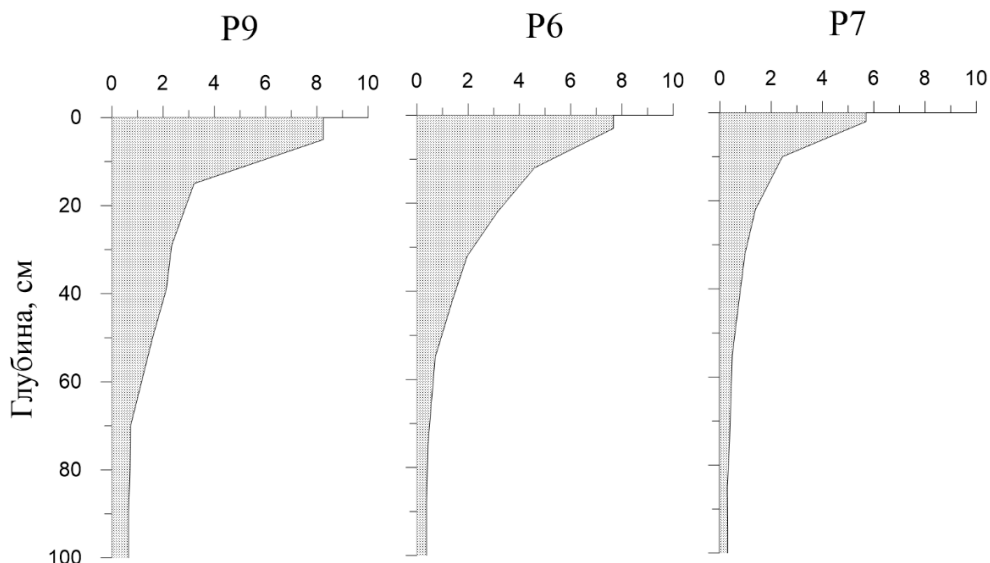
На исследуемой территории смена древостоя обусловлена стремительной деградацией темнохвойных лесов под влиянием инвазии уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford) и союзного короеда (*Ips amitinus*

Eichhoff). Это в свою очередь приводит к смене подчиненных ярусов (под-
рост, подлесок, напочвенный покров, подстилка и почва) [3, 4].

Объектом исследования послужили темно-серые почвы коренных темно-
хвойных лесов на разных стадиях сукцессии, что подтверждается как сменой
биоценозов, так и результатами аналитических исследований. Объекты рас-
положены в пределах Томского района (д. Аркашево) на мониторинговой
площадке ИМКЭС СО РАН, заложенной в рамках исследований бюджета
углерода в лесных экосистемах.

Основные физико-химические свойства почв проведены общепринятыми
методами. Количественный анализ углерода проводился с помощью эле-
ментного анализатора CHNS-O (VELP Scientifica, Италия). Аналитические
исследования подстилок не проводилось.

Результаты исследования показали, что в ряду трансформации
(P9 → P6 → P7) происходит некоторое подщелачивание верхнего минераль-
ного горизонта за счет изменения качества опада, что сопровождается моби-
лизацией доступного для растений фосфора. Так как изменения затрагивают
преимущественно верхнюю часть почвенного профиля, то в ней наблюдаются
изменения, затрагивающие органическую часть почв. Ввиду смены харак-
тера растительности, а, следовательно, и микробного сообщества, происходит
последовательное уменьшение содержания органического вещества (рису-
нок) в корнеобитаемой зоне.



Профильное распределение органического углерода (%) в исследованном сукцесси-
онном ряду

Не меньший интерес представляют запасы почвенного органического
вещества, которые также могут указывать на процессы трансформации БГЦ.

Полученные результаты свидетельствуют, что при отсутствии (Р9) влияния фактора деградации древостоя запасы углерода довольно высоки и составляют 161,9 т С/га. При ослаблении древесного компонента леса в почве (Р6) происходит некоторое увеличение запасов органического вещества (166,2 т С/га), что может быть объяснено большим привносом мортмассы в результате смены фитоценоза. На стадии вторично-производного леса почва (Р7) характеризуется минимальными запасами углерода почв и составляет 92,8 т С/га, что связано, вероятно, со сменой микробиологического сообщества и интенсификацией процессов гумификации и минерализации органического вещества.

Сукцессия сопровождается последовательной сменой основного (древесного), а затем и подчиненных ярусов биогеоценоза. Изменение структуры растительного сообщества влияет на почвенный профиль, что сопровождается изменением как морфологических, так и некоторых физико-химических свойств почв.

А.Г. Дюкарев с соавторами [1] отмечает, что в исследовании динамики лесов важное место отведено скоротечности сукцессии. Трансформация структуры леса сопровождается образованием на месте выпавших деревьев крупных окон. В этой связи меняются гидротермические условия локальных участков леса, на этих местах кардинально меняется напочвенный покров (преобладает высокотравье), сменяющийся преимущественно осиновыми разнотравными лесами. Быстро протекающие сукцессии являются причиной неоднородности в лесных экосистемах, проявляющейся на всех ярусах: древостое, подлеске, напочвенном покрове, гумусовом профиле почв.

Проведённые исследования темно-серых почв в ряду трансформации показали, что при резкой смене древостоя с темнохвойного на лиственный происходит уменьшение содержания углерода, особенно в верхней части почвенного профиля, и его общих запасов, вызванное усилением минерализации органического вещества.

Литература

1. Дюкарев А.Г. [и др.] Устойчивость лесных экосистем к изменениям климата // Сибирский экологический журнал. 2022. Т. 29, № 3. С. 304–314.
2. Чернова Н.А. Трансформация растительного покрова пихтовых лесов Томской области под влиянием уссурийского полиграфа // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. № 2. С. 271–277.
3. Kerchev I.A. [et al.] Effects of an Invasive Bark Beetle *Polygraphus proximus* Blandf. Outbreak on Carbon Pool Dynamics in West Siberian Dark Coniferous Forests // Forests. 2024. Vol. 15, № 3. P. 542.
4. Кривец С.А. [и др.] Вспышка массового размножения и оценка риска распространения союзного короеда в кедровых лесах Томской области // Лесоведение. 2023. № 2. С. 116–131. doi: 10.31857/S0024114823020031

Трансформация темно-серых лесных почв в ходе длительного агрогенеза на юге Томской области

Д.М. Кузьмина, С.В. Лойко*, А.А. Ткачева, С.П. Кулижский

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия*

** s.loyko@yandex.ru*

Аннотация. Изучена агрогенная эволюция темно-серых лесных почв на длительных временных интервалах в условиях Сибири. Выявлено, что запасы углерода наиболее сильно уменьшаются в пределах верхних 30 см почв, немного увеличиваются в слое 30–60 см. Уменьшается выраженность признаков иллювиирования, а встречаемость миграционных форм карбонатных новообразований увеличивается.

Ключевые слова: агрогенная эволюция почв, запасы углерода, подтайга Притомья, агроденудация, микрорельеф

The transformation of Luvic Phaeozems during long-term agrogenesis in southern Tomsk Region

D.M. Kuzmina, S.V. Loiko*, A.A. Tkacheva, S.P. Kulizhskiy

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

** s.loyko@yandex.ru*

Summary. The agrogenic evolution of Luvic Phaeozems was studied over long-time intervals in Siberian conditions. It was found that carbon reserves decrease most significantly within the upper 30 cm of soils, and increase slightly in the 30–60 cm layer. The severity of illuviation signs decreases, while the occurrence of migratory forms of carbonates increases.

Keywords: agrogenic evolution of soils, carbon reserves, subtaiga of the Tomsk region, agrogenudation, microrelief

Воздействия длительной сельскохозяйственной деятельности на почвы, уровень и запасы органического углерода в почвах хорошо изучены для Европейской части России [1, 2 и др.], в то время как подобных сведений для почвенного покрова юга Сибири недостаточно [3]. Получение сведений о региональных моделях эволюции почв в условиях длительного агрогенеза является необходимым условием при планировании мероприятий по поддержанию плодородия и углерод-секвестрирующей функции почв.

В лесной зоне юго-востока Западной Сибири наиболее активно освоена подтайга, в пределах ареалов тёмно-серых лесных почв, значительная часть которых была распахана в тот или иной период времени. Первые сельскохозяйственные обработки этих почв начались более 400 лет назад [4]. Одной из таких сильно освоенных территорий является северное Притомье в пределах бассейна реки Томи на юге Томской и севере Кемеровской областей (Томский и Яшкинский районы). Тёмно-серые лесные почвы составляют здесь основу пахотного клина. Оценка степени трансформации этих почв за столетия освоения представляет собой значительную сложность из-за почти полного отсутствия нетронутых распахкой почв, которые могли бы служить эталоном для сравнительно-почвенно-географических исследований. Более того, при осуществлении такой сравнительной работы необходимо принимать во внимание исходную микронеоднородность почвенного покрова, а также контролировать идентичность почвообразующих пород и форм рельефа, стремиться к выбору ключевых участков с минимальным проявлением эрозии. В данной работе была предпринята попытка подобрать для изучения сравнительные ряды с учётом обозначенных ограничений.

По результатам проведенной работы установлено, что за более чем 200 лет агрогенного использования темно-серых лесных почв в условиях микроводоразделов произошло снижение запасов углерода органических соединений. И если на 20-метровую толщу это снижение колебалось в районе 11–14%, то в верхних 30 см снижение достигало 25–30% от его исходного содержания, по данным сравнения эквивалентных масс. В слое от 30 до 60 см отмечается относительное накопление углерода. Замкнутые понижения в условиях распахки показывают существенное увеличение запасов углерода, достигающее до 50% от его исходного содержания. Это свидетельствует о том, что даже в условиях рельефа с плоскобугристо-западинным микрорельефом с незначительными уклонами основным фактором уменьшения запасов углерода на микроводоразделах является плоскостная эрозия и механический перенос массы пахотного горизонта при распахке плугом.

Морфологические изменения гумусового горизонта аналогичны многократно ранее описанным изменениям почв иных регионов. В срединном горизонте отмечается практически полное исчезновение глинистых кутан параллельно с увеличением плотности сложения верхней части срединного горизонта. В карбонатном горизонте старопахотной почвы отмечено несколько большее количество тонкокристаллических, плесневидных форм карбонатных новообразований. В почвах нанопотяжин на микроводоразделах отмечено появление на глубине 170 см карбонатного горизонта, тогда как в аналогичных условиях под коренным лесом карбонаты отмыты вплоть до подстилающего лессовидный суглинок слоя эолового песка.

В целом можно отметить, что выявленные признаки трансформации почв в ходе длительной аграрной эволюции имеют схожие черты с описанными ранее. Наибольший вклад в уменьшение запасов углерода вносит агрогенудация и эрозия.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 24-27-00417 «Углеродный баланс агрогенных и постагрогенных почв юга лесной зоны Западной Сибири на столетнем временном масштабе: исследование с учётом микрорельефа и истории землепользований».

Литература

1. Чендев Ю.Г. Реакция серых лесных почв на сельскохозяйственное освоение в разных климатических условиях // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2012. № 2. С. 59–67. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2012-2-59-67>
2. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного курской области / В.Г. Мамонтов [и др.] // Бюл. Почв. ин-та. 2020. №101. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201>
3. Титлянова А.А. [и др.] Запасы и потери органического углерода в почвах Сибири // Почвоведение. 1998. № 1. С. 51–59.
4. Бояршинова З.Я. К вопросу о развитии русского земледелия в Томском уезде в XVII веке // Вопросы географии Сибири. Томск: ТГУ, 1951. Т. 2. С. 95–140.

УДК 631.461

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-44

Численность и состав микробоценозов мерзлотных лесных и лугово-степных почв Центральной Якутии

**Н.П. Кузьмина*, А.П. Чевычелов,
С.В. Ермолаева**

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,
Якутск, Россия*

** erel1982@mail.ru*

Аннотация. Установлено, что полученные средние значения для общей численности микроорганизмов (ОЧМ) мерзлотных лесных и лугово-степных почв Центральной Якутии статистически достоверно не различались при доверительной вероятности $p=0,95$. Однако две изучаемые группы мерзлотных почв статистически достоверно различались на уровне средних содержаний олигонитрофильных бактерий и грибов (микромикетов). Установлена высокая вариабельность значений ОЧМ, характерных для мерзлотных почв Центральной Якутии.

Ключевые слова: мерзлотные почвы, численность микроорганизмов, микробоценоз, олигонитрофилы, микромикеты

The number and composition of microbiocenoses of cryogenic forest and meadow-steppe soils of Central Yakutia

N.P. Kuzmina*, A.P. Chevychelov, S.V. Ermolaeva

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS,
Yakutsk, Russian Federation*

* *erel1982@mail.ru*

Summary. It was found that the obtained average values for the total number of microorganisms (TNM) in cryogenic forest and meadow-steppe soils of Central Yakutia did not differ statistically significantly with a confidence probability of $p=0,95$. However, the two groups of cryogenic soils studied statistically significantly differed in the level of average concentrations of oligonitrophilic bacteria and fungi (micromycetes). A high variability of the values of the TNM, characteristic of both cryogenic soils of Central Yakutia, has been established. Keywords: cryogenic soils, number of microorganisms, microbiocenoses, oligonitrophils, micromycetes.

Keywords: permafrost soils, number of microorganisms, microbiocenosis, oligonitrophils, micromycetes

Исследования были проведены на территории Якутского ботанического сада (ЯБС), расположенного в пределах долины Туймаада и приуроченного ко второй надпойменной террасе р. Лена. На данной небольшой площади (около 100 га) распространены почти все типы мерзлотных почв, встречающиеся на территории Центральной Якутии [1]. В работе проведено сравнительное изучение микробных сообществ мерзлотных лесных и лугово-степных почв изучаемого региона.

Целью исследования являлось изучение количественного состава основных эколого-физиологических групп микроорганизмов и установление различий по их содержанию в микробоценозах изучаемых типов мерзлотных почв.

Закладка почвенных разрезов, их описание и отбор образцов были проведены однократно в третьей декаде июля 2019 г. Всего было заложено и исследовано 10 почвенных разрезов мерзлотных почв (5 лесных и 5 лугово-степных).

Разрез 1БС-18 заложен в микропонижении, на участке сосново-березового леса с кустарничково-зеленомошно-разнотравным напочвенным покровом. Строение профиля: $A_0A_1(0-4) - A_1A_2(4-8) - A_2(8-24/29) - B_{1s,ca}(24/29-42/48) - B_{2ca}(42/48-66) - BC_{ca}(66-86) - C_{ca}(86-104 \text{ см})$. Почва: солд. Разрез 2БС-18 заложен на мезоповышении, на участке коренного смешанного сосново-березово-лиственничного леса, напочвенный покров – кустарничково-зеленомошный. Профиль: $A_0(0-4) - A_0A_1(4-12) - A_2(12-16/18) - B_{fe}(16/18-34/37) - B_{fe,h}(34/37-48) - BC_{fe}(48-75 \text{ см})$. Почва: подзол иллювиально-гумусово-железистый. Разрез 5БС-18 заложен на контуре искусственного ельника разнотравно-зеленомошного. Строение профиля: $A_0(0-5) - A_0A_1(5-8) - A(8-26) - AB_{ca}(26-37) - B_{ca}(37-72) - BC(72-86) - C(86-102 \text{ см})$. Почва: пере-

гноино-карбонатная. Разрез 8БС-18 заложен в неглубоком плоском понижении, на контуре березового кустарникового леса с разнотравно-злаковым напочвенным покровом. Профиль: $A_0(0-3) - A_0A_1(3-8) - A(8-24) - AB_{ca}(24-40) - B_{ca}(40-62) - BC(62-100) - C(100-110 \text{ см})$. Почва: палевая серая. Разрез 11БС-18 заложен в нижней части склона коренного берега р. Лена в мертвопокровном сосняке. Строение профиля: $A_0A_1(0-3) - A_1A_2(3-8) - [A_{1pir}](8-11) - A_2(8-28/33) - B_{fe}(28/33-54) - BC_{fe}(54-72) - C(72-102 \text{ см})$. Почва: подзол иллювиально-железистый. Разрез 2БС-09 заложен на вершине приозерного гривного повышения, на пашне (черный пар). Профиль: $A_a(0-26) - AB(26-52) - B(52-67) - BC_{ca}(67-100) - C_{ca}(100-146 \text{ см})$. Почва: чернозем. Разрез 3БС-18 заложен в проточном понижении, злаково-разнотравный луг с пятнами солончаковой растительности (целина). Строение профиля: $A_v(0-3) - A(3-30) - AB(30-54/62) - BC(54/62-80) - C \pm (80-96 \text{ см})$. Почва: черноземно-луговая. Разрез 4БС-18 заложен на ровной поверхности приозерного повышения, пашня (черный пар). Профиль: $A_a(0-23) - AB_{ca}(23-42) - B_{ca}(42-61) - BC(61-84) - C(84-115 \text{ см})$. Почва: лугово-черноземная. Разрез 7БС-18 заложен на острове, в западине с относительным понижением $\sim 0,5$ м по направлению продолжения залива, в середине голого пятна, полностью лишенного растительности. Строение профиля: $A_{ca,s}(0-15/18) - B_{ca}(15/18-39) - BC_{ca}(39-65) - C(65-100 \text{ см})$. Почва: солончак солонцеватый. Разрез 12БС-18 заложен на ровной поверхности приозерного повышения, разнотравно-злаковый луг (целина). Профиль: $A_{v,ca}(0-2) - A_{ca}(2-20) - AB_{ca}(20-41) - B_{ca}(41-57) - BC_{ca}(57-81) - C(81-123 \text{ см})$. Почва: лугово-черноземная.

Пробы для микробиологических исследований отбирали по стандартной методике, из различных глубин по генетическим горизонтам. Численность культивируемых микроорганизмов определяли методом посева на селективные питательные среды [2]. Общую численность микроорганизмов (ОЧМ) в исследуемых почвах определяли с выведением средних значений данных по численности микроорганизмов. Статистическая обработка материалов проводилась на 95%-ном уровне значимости по стандартной программе EXCEL 2019. Также был проведен вариационно-статистический анализ с применением *t*-статистики Стьюдента [3]. Результаты по численности микроорганизмов исследуемых типов почв опубликованы в работах [4, 5].

С целью установления различия средних величин общей численности микроорганизмов, а также содержаний их отдельных эколого-физиологических групп в изучаемых мерзлотных лесных и лугово-степных почвах Центральной Якутии нами проведен вариационно-статистический анализ с применением *t*-статистики Стьюдента [3]. Нами использовался известный подход, связанный с применением *t*-критерия Стьюдента при анализе малых выборок (объемом меньше 30). При этом нулевая гипотеза (H_0) предполагает равенство генеральных средних (x_1 и x_2) двух выборок, когда выполняется условие $t_\phi < t_{st}$, и, наоборот, при неравенстве средний двух выборок вступает в силу альтернативная гипотеза (H_1), при этом $t_\phi > t_{st}$ для данного уровня вероятности p .

Полученные средние значения для ОЧМ, составляющие соответственно для мерзлотных лесных и лугового-степных почв $(9,7 \pm 3,7) \cdot 10^5$ и $(7,8 \pm 3,5) \cdot 10^5$ КОЕ/г (табл. 1), статистически достоверно не различались при $p = 0,95$, так как $t_{\phi} = 0,23$ был меньше $t_{st} = 2,31$ (табл. 2).

Таблица 1

Статистические параметры изменения общей численности и отдельных функциональных групп микроорганизмов в мерзлотных лесных и лугово-степных почв Центральной Якутии

Микроорганизмы	n	lim	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	S	V
Лесные почвы					
Общая численность, $(\bar{x} \pm S\bar{x}) \cdot 10^5$ КОЕ/г	5	2,8–24,0	$9,7 \pm 3,7$	8,3	86
Аммонификаторы, %	—//—	15–34	$24,4 \pm 3,1$	7,0	29
Олигонитрофилы, %	—//—	12–24	$17,2 \pm 2,4$	5,4	31
Актиномицеты, %	—//—	23–40	$29,8 \pm 3,1$	7,0	23
Грибы, %	5	13–38	$28,6 \pm 4,2$	4,2	33
Лугово-степные почвы					
Общая численность, $(\bar{x} \pm S\bar{x}) \cdot 10^5$ КОЕ/г	5	0,5–15,0	$7,8 \pm 3,5$	5,7	73
Аммонификаторы, %	—//—	24–35	$28,0 \pm 1,9$	4,2	15
Олигонитрофилы, %	—//—	29–44	$34,6 \pm 2,7$	6,1	18
Актиномицеты, %	—//—	14–44	$23,0 \pm 5,6$	12,5	54
Грибы, %	5	3–24	$12,4 \pm 3,6$	8,0	64

Примечание. n – объем выборки, lim – пределы изменения содержания $\bar{x} \pm S\bar{x}$ – среднее значение и его ошибка, S – стандартное отклонение, V – коэффициент вариации.

Таблица 2

Сопоставление средних значений общей численности и отдельных функциональных групп микроорганизмов в мерзлотных лесных и лугово-степных почвах Центральной Якутии

Микроорганизмы	n_1	n_2	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	t_{ϕ}	t_{st}
Общая численность	5	5	9,7	7,8	0,23	2,31
Аммонификаторы	—//—	—//—	28,0	24,4	0,99	—//—
Олигонитрофилы	—//—	—//—	34,6	17,2	4,88	—//—
Актиномицеты	—//—	—//—	29,8	23,0	1,06	—//—
Грибы	5	5	28,6	12,4	2,90	2,31

Примечание. n_1 и n_2 , $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – объемы и средние значения первой и второй выборок; t_{ϕ} и t_{st} – фактические и статистические значения t -критерия Стьюдента.

Также можно утверждать, что две данные группы мерзлотных почв статистически достоверно различались на уровне средних содержаний двух эколого-физиологических групп микроорганизмов, а именно олигонитрофильных бактерий и грибов (микромикетов). При этом мерзлотные лесные почвы в целом характеризовались меньшим количеством олигонитрофилов $((17,2 \pm 2,4) \%)$ и большим содержанием грибов $((28,6 \pm 4,2) \%)$ по сравнению

с таковыми лугово-степными почвами, где их количество соответственно равно $34,6 \pm 2,7\%$ и $12,4 \pm 3,6$ (см. табл. 1). В этом случае выполняется условие $t_{\phi} > t_{st}$ с доверительной вероятностью равной 95%. Анализируя полученные статистические величины, необходимо также отметить высокую вариабельность значений ОЧМ, характерных как для мерзлотных лесных, так и лугово-степных почв Центральной Якутии, когда коэффициенты вариации были соответственно равны 86 и 73%. В целом вариабельность содержаний актиномицетов и грибов в мерзлотных лугово-степных почвах была выше ($V = 54\text{--}64\%$) таковой в лесных почвах ($V = 23\text{--}33\%$) данного региона.

Литература

1. Почвенно-растительный покров Якутского ботанического сада / А.П. Чевычелов [и др.]. Новосибирск: Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние РАН, 2022. 164 с.
2. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
3. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 328 с.
4. Кузьмина Н.П., Ермолаева С.В., Чевычелов А.П. Микробоценозы мерзлотных лесных почв Центральной Якутии // Сибирский лесной журнал. 2022. № 6. С. 22–33.
5. Кузьмина Н.П., Ермолаева С.В., Чевычелов А.П. Микроорганизмы мерзлотных лугово-степных почв Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2025. № 30 (1). С. 97–108.

УДК 631.618

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-45

Сравнительное исследование состава полициклических ароматических углеводородов в почвах техногенных ландшафтов Горловского и Кузнецкого угольных бассейнов

С.А. Куйдина^{1*}, Д.А. Соколов^{1**}, С.В. Морозов^{2***}

¹ *Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

² *Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

* *sofakujdina@gmail.com*

** *sokolovdenis@mail.ru*

*** *morozov@nioch.nsc.ru*

Аннотация. Методом ГХ/МС определены концентрации и составы 19 приоритетных ПАУ в почвах техногенных ландшафтов Кузнецкого и Горловского угольных бассейнов в зависимости от глубины и стадии почвообразования. Максимальные значения концентраций бенз(а)пирена на исследуемых участках превышали ПДК в

почвах в 1,5 и 11 раз для двух месторождений. В исследуемых почвах Кузнецкого бассейна преобладали 3- и 4-ядерные ПАУ, в почвах Горловского месторождения – 4- и 5-ядерные соединения.

Ключевые слова: почвы техногенных ландшафтов, отходы угледобычи, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), эмбриоземы, Spolic Technosol

Comparative study of the composition of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of technogenic landscapes in the Gorlovo and Kuznetsk coal basins

S.A. Kuidina^{1*}, D.A. Sokolov^{1}, S.V. Morozov^{2***}**

¹ *Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

² *N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation*

* *sofakujdina@gmail.com*

** *sokolovdenis@mail.ru*

*** *morozov@nioch.nsc.ru*

Summary. The successive changes in the concentrations and compositions of 19 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during the soil formation process and with increasing soil depth on coal mining dumps in the Kuznetsk and Gorlovo basins were determined using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The maximum concentrations of benzo(a)pyrene at the studied sites exceeded the maximum permissible concentrations (MPC) in soils by 1,5 to 11 times for the two deposits. In the soil extracts from the Kuznetsk basin, three- and four-ring PAHs predominated, while in the soils of the Gorlovo deposit, four- and five-ring compounds were more prevalent.

Keywords: soils of technogenic landscapes, coal mining waste, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), embryozems, Spolic Technosol

В ходе добычи угля открытым способом образуются отвалы вскрышных пород. Из углесодержащих пород техногенных ландшафтов высвобождаются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), которые накапливаются в процессе почвообразования. ПАУ – класс органических соединений, содержащих два и более ароматических кольца в структуре, многие из них обладают токсическими и канцерогенными свойствами.

Цель исследования – сравнение содержания и состава ПАУ в почвах техногенных ландшафтов Кузнецкого каменноугольного бассейна Кемеровской области и Горловского антрацитового бассейна Новосибирской области в зависимости от стадии эволюционного развития почв и состава добываемого сырья.

Объектами исследования стали уголь и почвы разновозрастных отвалов вскрышных пород двух месторождений. В работе использовалась классификация почв техногенных ландшафтов, разработанная сотрудниками ИПА СО

РАН [1]. В качестве фоновых естественных почв для двух регионов был выбран выщелоченный чернозем. Глубина отбора проб составила 0–5, 5–10, 10–20 см. Общее содержание и состав 19 ПАУ определялись методом хромато-масс-спектрометрии [2].

Результаты. Суммарные концентрации ПАУ в почвах отвалов были рассчитаны с учетом доли анализируемого мелкозема на каждом из участков. В почвах ландшафтов Кузнецкого каменноугольного бассейна концентрации варьировались в пределах от 39 до 2113 нг/г, содержание ПАУ в каменном угле и фоновом черноземе составило 2211 и 88 нг/г соответственно. В почвах Горловского антрацитового бассейна содержание ПАУ изменялось от 56 до 3281 нг/г, содержание в антраците и фоновом черноземе составило 107 и 45 нг/г. Максимальные концентрации были зафиксированы на ранней эволюционной стадии органо-аккумулятивных эмбриоземов. Содержание ПАУ снижалось с глубиной на всех участках (рис. 1).

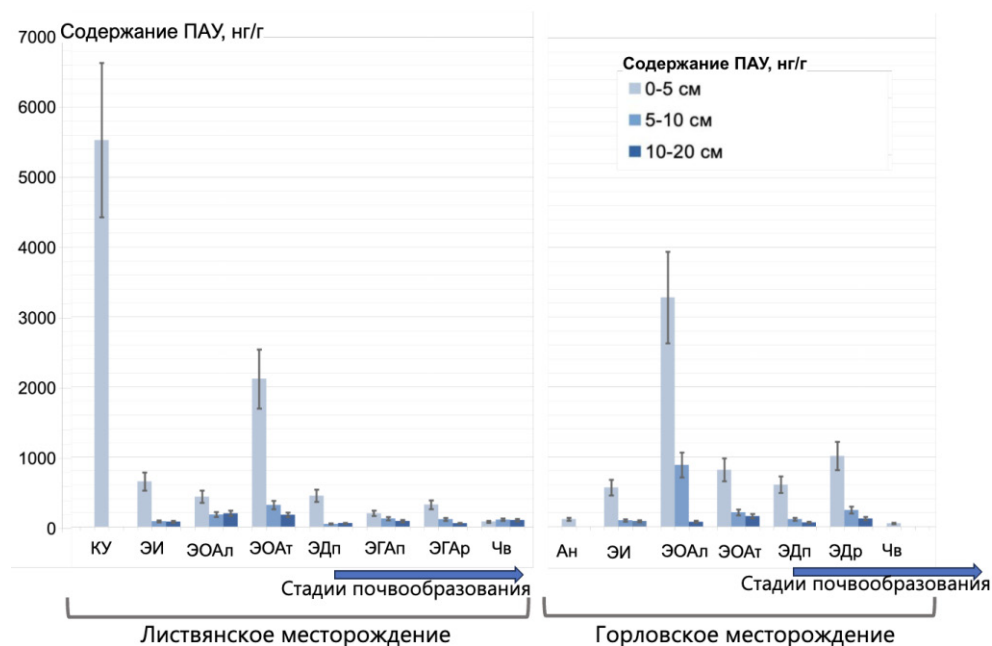


Рис. 1. Суммарные концентрации ПАУ (нг/г) участков в зависимости от глубины и стадии почвообразования. Обозначения здесь и далее: Ан – антрацит; КУ – каменный уголь; ЭИ – эмбриозём инициальный; ЭОА – эмбриозём органо-аккумулятивный (т – травянистый участок; л – участок лесной рекультивации); ЭГА – эмбриозём гумусо-аккумулятивный (р – рыхлая порода; п – плотная); Чв – чернозём выщелоченный (фон)

В почвах Кузнецкого бассейна концентрации бенз(а)пирена и бенз(а)пиренового эквивалента токсичности варьировались в интервале 0,5–34 нг/г и 2–96 нг/г. Для Горловского бассейна концентрации составили 0,2–

227 нг/г и 0,7–366 нг/г. Максимальные значения концентраций бенз(а)пирена превышали ПДК бенз(а)пирена для почв (20 нг/г) в 1,5 и 11 раз, в то время как оценка бенз(а)пиренового эквивалента токсичности (BaPeq) показала превышение ПДК в 5 и 18 раз (рис. 2).

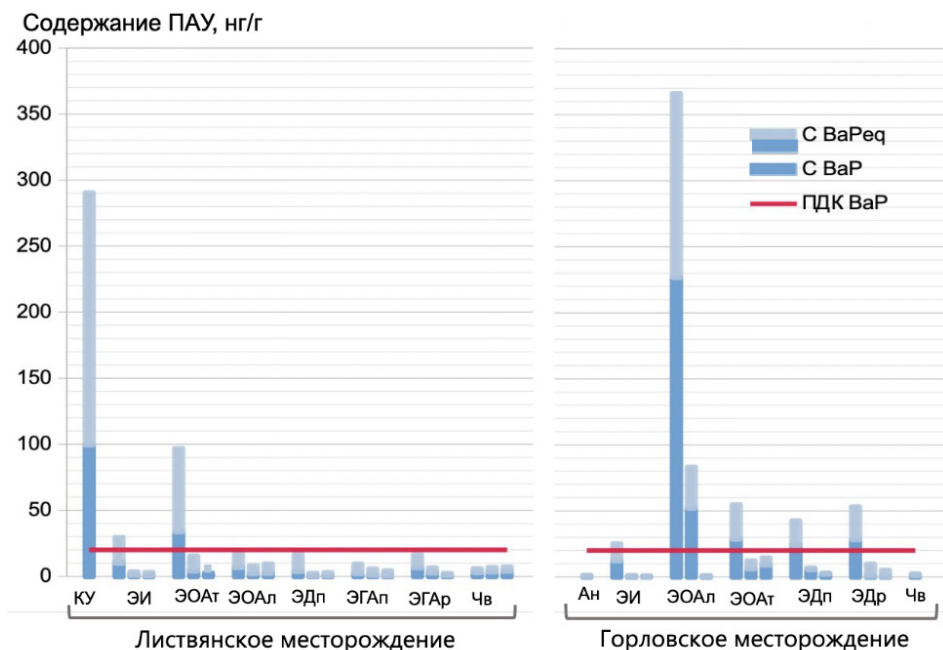


Рис. 2. Суммарные концентрации ПАУ (нг/г) участков в пересчете на эквивалент токсичности по бенз(а)пирену (глубина 0–5 см)

В профилях ПАУ углей и эмбриоземов Листвянского месторождения преобладают трех- и четырехъядерные соединения (фенантрен, бенз(б)флуорантен, хризен). Хроматографические профили эмбриоземов Листвянского месторождения подобны и близки к профилю свежедобытого каменного угля. Профили эмбриоземов Горловского месторождения определяют соотношения четырех- и пятиядерных ПАУ (флуорантен, пирен, хризен, бенз(б)флуорантен), а профиль антрацита – фенантрен, флуорантен, пирен. Профили участков Горловского месторождения сдвигаются в область тяжелых ПАУ в сравнении с фоновой почвой и антрацитом.

Литература

1. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 255–261.
2. Method 8270E (SW-846). Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). EPA, Revision 6, 2018. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/method_8270e_update_vi_06-2018_0.pdf (accessed 02.08.2023).

Противоэрозионная стойкость дерново-подзолистых почв Пермского края

Е.С. Лобанова

*Пермский государственный аграрно-технологический университет,
Пермь, Россия
evgeniyalobanova83@mail.ru*

Аннотация. Изучена противоэрозионная стойкость дерново-подзолистых почв Пермского края разного гранулометрического состава. Величины коэффициента варьируют от 11 до 1 и зависят как от гранулометрического состава, так и от содержания гумуса. Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва с содержанием гумуса 3,6% характеризуется высокой противоэрозионной стойкостью, а среднесуглинистая с содержанием гумуса 2,3% – низкой. Соответственно, гумусированные тяжелые почвы имеют более высокую устойчивость к водной эрозии.

Ключевые слова: гранулометрический и микроагрегатный состав, гранулометрический показатель структурности, коэффициент дисперсности

Anti-erosion resistance of sod-podzolic soils of the Perm region

E.S. Lobanova

*Perm State Agro-Technological University,
Perm, Russian Federation
evgeniyalobanova83@mail.ru*

Summary. Sod-podzolic soils predominate in the soil cover of the Perm Region, characterized by low fertility. In the region, water erosion is most actively involved in soil destruction. The erosion resistance index can be used to assess the resistance of sod-podzolic soils to erosion processes. The values of the coefficient vary from 11 to 1 and depend on both the granulometric composition and the humus content. Sod-podzolic heavy loamy soil with a humus content of 3,6% is characterized by high erosion resistance, while medium loamy soil with a humus content of 2,3% is low. Accordingly, humified heavy soils have a higher resistance to water erosion.

Keywords: granulometric and microaggregate composition, granulometric index of structure, dispersion coefficient

Дерново-подзолистые почвы преобладают в почвенном покрове Пермского края, характеризуются низким плодородием [1, 2]. В крае наиболее активно в разрушении почв участвует водная эрозия. Достаточно большие площади пашни (44%) заняты почвами разной степени эродированности. Кроме этого, эрозия проявляется на сенокосах и пастбищах, так как происхо-

дит уничтожение растительного покрова [2]. Для оценки устойчивости дерново-подзолистых почв к эрозионным процессам можно использовать показатель противозэрозионной стойкости, который определяется на основе данных гранулометрического и микроагрегатного составов почв [3].

Цель работы – оценить противозэрозионную стойкость дерново-подзолистых почв Пермского края.

Объекты исследования: дерново-слабоподзолистые и дерново-неглубокоподзолистые почвы разного гранулометрического состава Кочевского (разрез 1), Сивинского (разрез 4) и Пермского (разрез 5) округов, угодье пашня.

Полевые и лабораторные исследования проведены по общепринятым методикам [4, 5]. Рассчитана противозэрозионная стойкость (Кпр.ст) как отношение гранулометрического показателя структурности по А.Ф. Вадюниной (Кгр.ст, %) и фактора дисперсности по Н.А. Качинскому (Кд, %) [3].

Изучаемые дерново-подзолистые почвы, как и в целом почвы Пермского края, обладают низким плодородием. По данным табл. 1 установлено, что содержание гумуса в пахотном слое почв низкое и очень низкое (1,8–3,6%), сумма обменных оснований и емкость катионного обмена варьируют от низких до средних величин, степень насыщенности основаниями средняя и повышенная (60–89%), среднекислая и слабокислая реакция среды, в почвенном поглощающем комплексе присутствуют катионы кальция, магния, водорода и алюминия.

Таблица 1

Свойства дерново-подзолистых почв Пермского края

Гумус, %	В мг-экв. на 100г почвы			V, %	pH _{KCl}
	S	Hг	ЕКО		
Разрез 1. Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на элювии пермских глин, A _{пах} 0-28 (Кочевский округ)					
3,62	6,7	4,4	11,1	60	4,5
Разрез 4. Дерново-слабоподзолистая легкогоглинистая на покровных отложениях, A _{пах} 0-21 (Сивинский округ)					
1,78	18,8	2,3	21,1	89	5,5
Разрез 5. Дерново-неглубокоподзолистая среднесуглинистая на покровных отложениях, A _{пах} 0-23 (Пермский округ)					
2,30	16,0	3,1	19,1	84	4,8

По гранулометрическому составу дерново-подзолистые почвы тяжелые: легкогоглинистые, тяжелосуглинистые и среднесуглинистые (табл. 2). Преобладающие фракции пылеватая и песчаная. Данные микроагрегатного состава показывают преобладание фракции 1–0,05 мм – более 60%. Коэффициент дисперсности почв изменяется от 5,6–6,6 – высокая микрооструктуренность у легкогоглинистой и тяжелосуглинистой почв до 17,0 – хорошая у среднесуглинистой.

**Показатели противозэрозионной стойкости дерново-подзолистых почв
Пермского края**

Содержание (%) частиц размером (мм)							Кгр.ст, %	Кд, %	Кпр.ст	Оценка Кпр.ст
1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001	<0,01				
Разрез 1. Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая на элювии пермских глин, А _{пах} 0-28 (Кочевский округ)										
<u>13,4</u> 23,0	<u>40,0</u> 45,5	<u>1,8</u> 21,3	<u>13,6</u> 6,2	<u>13,4</u> 3,0	<u>17,8</u> 1,0	<u>44,8</u> 10,2	61,81	5,62	10,99	высокая
Разрез 4. Дерново-слабоподзолистая легкоголинистая на покровных отложениях, А _{пах} 0-21 (Сивинский округ)										
<u>3,2</u> 11,1	<u>14,8</u> 52,3	<u>29,9</u> 22,6	<u>11,6</u> 4,8	<u>17,9</u> 7,7	<u>22,6</u> 1,5	<u>52,1</u> 14,0	38,05	6,55	5,81	средняя
Разрез 5. Дерново-неглубокоподзолистая среднесуглинистая на покровных отложе- ниях, А _{пах} 0-23 (Пермский округ)										
<u>9,4</u> 17,8	<u>36,6</u> 45,6	<u>20,1</u> 26,9	<u>14,3</u> 5,5	<u>14,8</u> 2,8	<u>8,1</u> 1,4	<u>37,2</u> 9,7	16,46	17,04	0,97	низкая

Примечание. Числитель – результаты гранулометрического состава почв; знаменатель – результаты микроагрегатного состава почв; Кгр.ст. – гранулометрический показатель структурности по Вадюниной; Кд – коэффициент дисперсности по Качинскому; Кпр.ст. – коэффициент противозэрозионной стойкости почв.

Как известно, все почвы сгруппированы по степени устойчивости к эрозионным процессам на основе содержания физической глины: сильная более 20%, средняя 20–10%, слабая менее 10% [3]. Согласно представленным выше данным, дерново-подзолистые почвы Пермского края по содержанию физической глины обладают высокой устойчивостью к эрозионным процессам (табл. 2).

При оценке коэффициента противозэрозионной стойкости изучаемых почв была установлена зависимость его величины от гранулометрического состава и содержания гумуса. Так, максимальное значение Кпр.ст = 11 и оценивается как высокая стойкость, выявлено в пахотном слое дерново-слабоподзолистой тяжелосуглинистой почвы с содержанием гумуса 3,6% (Кочевский округ). Дерново-слабоподзолистая почва Сивинского округа обладает легкоголинистым гранулометрическим составом и очень низким содержанием гумуса (1,8%), характеризуется средней противозэрозионной стойкостью Кпр.ст = 5,8. Самая низкая стойкость определена в дерново-неглубокоподзолистой почве среднесуглинистого состава с содержанием гумуса 2,3% (Пермский округ), Кпр.ст около единицы. Зависимость между физико-химическими свойствами дерново-подзолистых почв Пермского края и коэффициентом противозэрозионной стойкости не установлена.

Таким образом, противозерозионная стойкость дерново-подзолистых почв Пермского края зависит как от гранулометрического состава, так и от содержания гумуса. Гумусированные тяжелые почвы имеют более высокую устойчивость к водной эрозии.

Литература

1. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Кн. изд-во, 1962. 287 с.
2. Скрыбина О.А. Водная эрозия почв и борьба с ней. Пермь: Пермское книжное издательство, 1990. 244 с.
3. Кузнецов М.С. Противозерозионная стойкость почв. М.: Изд-во МГУ, 1981. 135 с.
4. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению / под ред. д-ра биологических наук. М.: Агроконсалт, 2002. 208 с.
5. Самофалова И.А., Лобанова Е.С. Почвоведение: лабораторный практикум. Пермь: ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, 2020. 115 с.

УДК 502.1(470.53)

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-47

Экологическая характеристика полигона ТКО г. Перми

Н.С. Мерзляков*, И.А. Самофалова

*Пермский государственный аграрно-технологический университет,
Пермь, Россия*

**nikita.merzliakov2007@yandex.ru*

Аннотация. Приведена характеристика полигона ТКО г. Перми на основе опубликованных данных. Приведены результаты исследования свойств почв в слое 0–5 см на удалении от границ полигона (50, 100, 200 м). Показаны изменения основных почвенных характеристик и определено накопление частиц пластмасс в почве.

Ключевые слова: полигон, почвы, свойства, частицы пластмасс, загрязнение

Ecological Characterization of Solid Municipal Waste Landfill in Perm

N.S. Merzliakov, I.A. Samofalova

*Perm State Agro-Technological University,
Perm, Russian Federation*

**nikita.merzliakov2007@yandex.ru*

Summary. The characteristics of the Perm solid municipal waste landfill are given based on published data. The results of the study of soil properties in the 0–5 cm layer at a distance from the landfill boundaries (50, 100, 200 m) are given. Changes in the main soil characteristics are shown and the accumulation of plastic particles in the soil is determined.

Keywords: landfill, soils, properties, plastic particles, pollution

В Российской Федерации ежегодно образуется около 7 млрд т отходов, из которых используется лишь 2 млрд т или 28,6%. На территории страны в отвалах и хранилищах накоплено около 80 млрд т только твердых отходов [1, 2].

В Пермском крае насчитывается около 30 санкционированных свалок. Из них требованиям СанПиН соответствуют лишь четыре полигона: в д. Софроны (г. Пермь), г. Краснокамске, д. Ключики и в г. Березники. В то же время в крае выявлено 1423 несанкционированные свалки общей площадью около 208 га.

Негативное воздействие на компоненты окружающей среды основного полигона ТКО г. Перми в д. Софроны проявляется в отсутствии системы очистки сточных вод, свалочного фильтрата и сортировочных линий. Большая часть свалочного фильтрата образуется при выпадении дождевых осадков [3], которые быстро проникают к грунтовому основанию полигона, по пути насыщаясь различными химическими соединениями и элементами вследствие растворения, выщелачивания и деятельности обменно-адсорбционных фильтратов.

Цель исследования – определить основные свойства почв за пределами полигона ТКО в д. Софроны и дать их экологическую характеристику.

Полигон ТКО расположен на территории Пермского муниципального округа Пермского края (рис. 1, а) северо-восточнее д. Софроны в 3,3 км, в 30 м от автодороги «Пермь – Жебреи». Расстояние до границы с г. Пермь составляет около 5 км. Полигон является действующим, расчетный срок эксплуатации (до 2029 г.) и принимает отходы 4 и 5 классов опасности. В настоящее время накоплено 6038 тыс. т отходов, вместимость составляет 9236,8 тыс. т. Эксплуатантом полигона является ПМУП «Полигон». Резервным является полигон г. Краснокамска Пермского края [4].

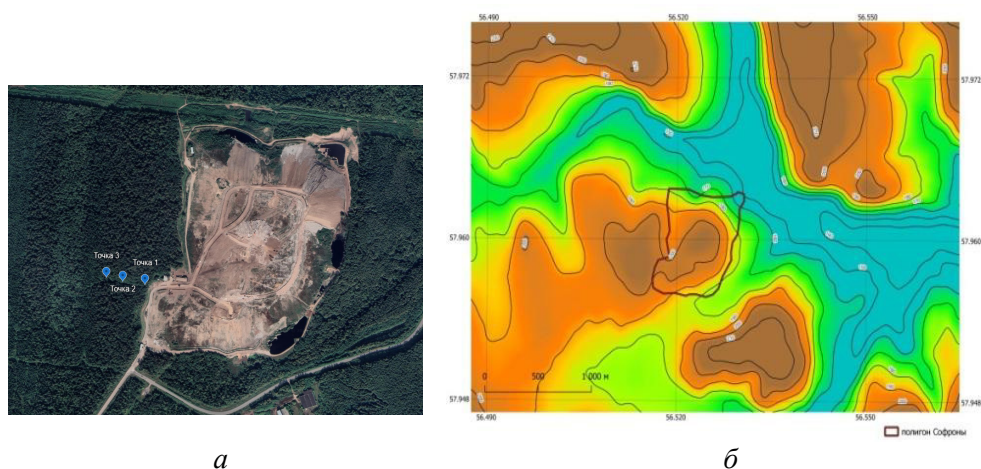


Рис. 1. Полигон ТКО в д. Софроны Пермского муниципального округа (204 м): а – полигон и площадки отбора образцов; б – рельеф в районе полигона ТКО

Полигон окружен лесным массивом и огорожен дамбой обвалования высотой 6 м, шириной в основании до 12 м. Площадь полигона – 56 га, санитарно-защитной зоны – 6 га. Плотность сложения ТКО от 1,2 до 1,3 т/м³ [5]. В течение длительного времени происходит выгорание складироваемых ТКО в виде тления, продукты сгорания которых рассеиваются на большое расстояние. Основание полигона составляют элювиально-делювиальные грунты до 2 м, а также аргиллиты, алевролиты, песчаники. Средняя мощность аэрации составляет 19 м. Основной объем полигона – бытовые и промышленные отходы, среди которых макулатура, черные и цветные металлы, полимерные материалы, пищевые отходы, строительный мусор. Мощность складированных ТКО в среднем 15 м. Средняя температура в теле свалки ТКО составляет 30 °С. Отмечается повышенный радиоактивный фон – до 20 мкр/час. В пределах полигона развиты воды шешминского водоносного горизонта, встреченные на глубинах 22,3–36,5 м от поверхности земли. В аргиллитах, алевролитах, песчаниках мощность водовмещающих грунтов – до 36 м. Движение грунтовых вод направлено на северо-восток к р. Бродовой. Воды по химическому составу слабоминерализованные, с повышенным содержанием аммония. В виде фильтратов загрязненные воды скапливаются в логах и в разуплотненных участках (мощностью до 8 м). Согласно СанПиН 2.1.4.559-96, концентрация ионов сульфатов, хлоридов, оксида азота, нитратов, железа в фильтратах превышает ПДК. В ручьях, близ полигона, превышения ПДК составляет несколько раз, отмечается повышенное содержание марганца и бария [5].

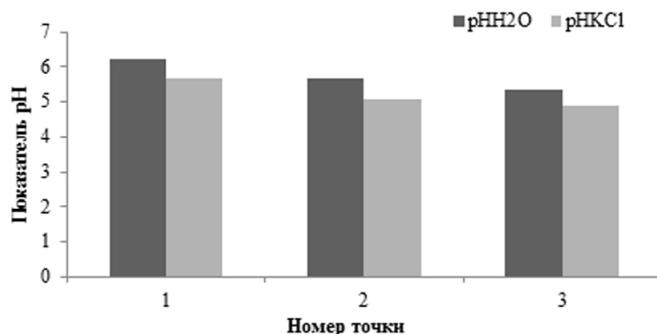
Полигон находится на возвышенной платообразной поверхности и имеет уклоны по всем экспозициям, с более пологим уклоном в юго-западном направлении (рис. 1, б). Исследуемая территория входит в почвенный район дерново-слабо-, средне- и сильноподзолистых тяжелосуглинистых почв. Почвы характеризуются низким содержанием гумуса, кислой реакцией среды, невысокой насыщенностью основаниями.

В юго-западном направлении на удалении от полигона (50, 100 и 200 м соответственно) заложены три площадки размером 5 × 5 м. Методом конверта с каждой площадки отобрали 5 проб массой по 1000 г (глубина 0–5 см). Образцы почвы сушили при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, далее перемешивали. Параллельно из образцов извлекали крупные камни и корни. Физико-химические свойства почв определяли общепринятыми методами.

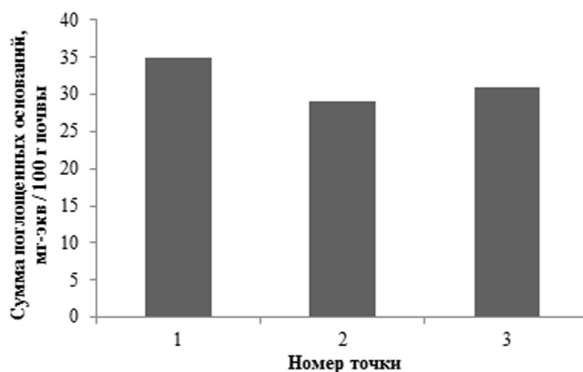
Для понимания экологического состояния почв необходимо оценить кислотно-основные свойства почв и содержание гумуса [6]. Представлены результаты исследования показателей (рис. 2).

При удалении от границ полигона отмечается снижение значения pH водной и солевой вытяжек, что свидетельствует об изменении реакции среды от близкой к нейтральной к кислой. Сумма обменных оснований высокая и имеет тенденцию к изменению. Наиболее низкое значение (0,01 г) отмечается в почве на площадке 2, что возможно связано с большей плотностью лесной раститель-

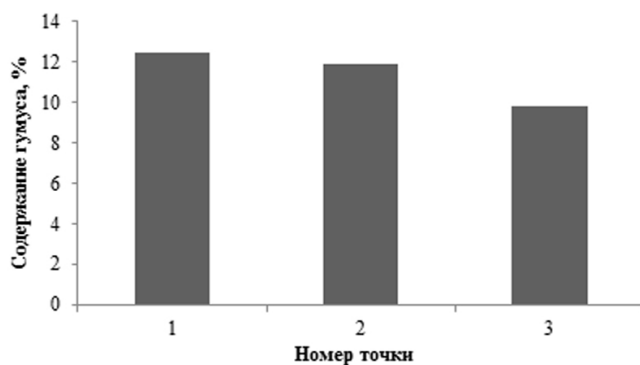
ности. Содержание гумуса в поверхностном слое снижается при удалении с 12,5% (50 м удаление) до 9,8% (200 м от полигона). Содержание гумуса является высоким и нехарактерным для дерново-подзолистых почв, что связано с распространением органических отходов с территории полигона живыми организмами, ветром, поверхностными стоками в период таяния снега.



a



б



в

Рис. 2. Значения показателей pH_{H_2O} и pH_{KCl} (*a*), суммы поглощенных оснований (*б*) содержания гумуса (*в*), в слое почвы 0–5 см

Определено накопление частиц пластмасс в почвах на площадках в слое 0–5 см. Наибольшее количество выделено на площадке 1 (50 м от полигона), что связано с их воздушным переносом, деятельностью живых организмов, возможно, и поверхностным стоком. С удалением от полигона количество частиц пластмасс снижается.

Таким образом, накопление твердых коммунальных отходов на полигоне приводит к существенным изменениям экологической обстановки вокруг него. Свойства почв в окрестностях полигона изменяются и являются нетипичными для зональных дерново-подзолистых почв южной тайги.

Литература

1. Гелетуха Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б. Перспективы производства и использования биогаза в Украине // Промышленная теплотехника. 2013. № 6. С. 81.
2. Боровский М.Я. [и др.] Полигоны твердых бытовых отходов и свалки как дополнительные источники углеводородного сырья и объекты экологического мониторинга // Управление техносферой. 2020. Т. 3, вып. 2. С. 191–206.
3. Минькевич И.И., Килин Ю.А. Экологическая гидрогеология и гидрогеохимия. М.: ПГНИУ. Пермь, 2017. 232 с.
4. Приказ Министерства жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства Пермского края № СЭД-24-02-46-8 от 21.03.2019.
5. Килин Ю.А. [и др.] Гидрогеоэкологические условия полигонов твердых бытовых и промышленных отходов в Пермском крае // Вестник Пермского университета. 2012. № 1. С. 53–66.
6. Власов [и др.] М.Н. Загрязнение почв урбанизированной территории частицами пластмасс в пойме малой реки Данилиха // Почвы и окружающая среда. 2024. Т. 7, № 4. doi: <https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.274>.

УДК 550.42(571.54)

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-48

Гумусное и микробиологическое состояние как индикатор оценки и степени деградации каштановых почв Западного Забайкалья

М.Г. Меркушева*, Л.Н. Болонева

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН

Улан-Удэ, Россия

** merkusheva48@mail.ru*

Аннотация. Дана оценка влияния деградации сухостепных пастбищ на их биопродуктивность и дефляции пашни на содержание и запасы гумуса в каштановых почвах Западного Забайкалья. Установлено, что эти негативные процессы, изменяя гумусовое состояние почв, трансформируют структуру микробоценозов, увеличивая численность ксерофитных форм, снижая микробомассу и обогащен-

ность почв микроорганизмами. Дегумификация и опесчаненность дефлированных почв приводит к резкому падению их плодородия, создавая основу для развития движущихся песков.

Ключевые слова: каштановые почвы, дефляция, структура микробоценозов и биологическая активность, Западное Забайкалье

Humus and microbiological state as an indicator of assessment and degree of degradation of chestnut soils in Western Transbaikalia

M.G. Merkusheva*, L.N. Boloneva

*Institute of General and Experimental Biology, SB RAS,
Ulan-Ude, Russian Federation*

** merkusheva48@mail.ru*

Summary. The influence of degradation of dry-steppe pastures on their bioproductivity and deflation of arable land on the content and reserves of humus in chestnut soils of Western Transbaikalia is shown. Dehumification and sandsanding of deflated soils leads to a sharp decline in their fertility, creating the basis for the development of moving sands. It is established that these negative processes, changing the humus state of soils, transform the structure of microbocenoses, increasing the number of xerophytic forms, reducing the microbomass and enrichment of soils with microorganisms.

Keywords: kashtanozems, deflation, structure of microbiocenoses and biological activity, Western Transbaikalia

Содержание, запасы органического вещества и биологическая активность в почвах традиционно являются индикаторами их плодородия и экологической устойчивости. Дефляция наиболее распространена на каштановых почвах Западного Забайкалья – основном фонде пахотных и пастбищных угодий. Самые большие очаги дефляционных процессов, вплоть до состояния песков, находятся в Баргузинской котловине, где каштановые почвы представляют самый северный ареал их распространения (52° с.ш.). Провинциальной особенностью этих почв является легкий гранулометрический состав, с большой долей песчаных фракций, состоящих в основном из первичных минералов – кварца и полевых шпатов. Тонкопылеватые и илистые фракции обеднены вторичными минералами [1], в связи с чем способность к адсорбции новообразованных гумусовых веществ слабая. Эти факторы не учитывались при массовой распахке сухостепных ландшафтов в 50–60-е гг. прошлого столетия, т.е. основа для развития дефляции была создана несколько десятилетий назад. Исследования проводились по трансекте с северо-запада на юго-восток урочища Верхнего Куйтуна (Курумканский район, Республика Бурятия).

Биопродуктивность степных пастбищ в зависимости от размещения на элементах рельефа, ботанического состава, степени деградации травостоя и

влагообеспеченности вегетационного сезона оценивается как низкая (954 г/м² год) и нормальная (1530 г/м² год). В общих запасах подземная фитомасса составляет от 91,6% до 97,3%. При деградации снижаются запасы как надземной, так и подземной фитомассы, расширяется величина их соотношения с 17 до 33, что не способствует поступлению свежего органического вещества в почвы. Запасы гумуса в слое почвы 0–20 см под деградированным пастбищем существенно ниже (табл. 1).

Таблица 1

Содержание и запасы гумуса в каштановых почвах (0–20 см) деградированных пастбищ и дефлированной пашни

Угодье	Содержание частиц (мм), %		Гумус, % (n = 5–8)	Запасы гумуса, т/га
	<0,01	<0,001		
Пастбище злаковое с регулируемым выпасом	24,6	14,0	2,36 ± 0,04	64,5
Пастбище твердоватоосочковое, деградированное	23,3	4,2	1,39 ± 0,03	39,6
Пашня:				
недефлированная	20,8	11,2	2,09 ± 0,07	58,5
слабодефлированная	18,4	10,0	1,78 ± 0,08	49,8
среднедефлированная	16,8	8,2	1,46 ± 0,05	40,9
сильнодефлированная	12,8	4,1	1,05 ± 0,05	29,3
очень сильно дефлированная	10,0	2,6	0,85 ± 0,04	23,8
Песок рыхлый	4,8	0,3	0,20 ± 0,01	7,3
Песок связный (посадки ивы, 15 лет)	7,3	1,7	0,44 ± 0,01	13,2
Лесополоса (посадки сосны, 30 лет)	16,1	11,0	1,81 ± 0,04	50,7

Развитие дефляционных процессов в сочетании с опустыниванием способствует значительному, иногда необратимому изменению показателей плодородия пахотных почв. Разновидности почв по содержанию гумуса образуют возрастающий ряд: от 0,2% в рыхлом песке до 2,4% в легком суглинке. Между содержанием гумуса и физической глины отмечена корреляция ($r = 0,75$).

Крайним и необратимым проявлением дефляции является появление на месте расположения каштановых почв песчаных массивов в постоянно увеличивающихся масштабах. Для снижения интенсивности дефляционных процессов и их прекращения требуется система мер по восстановлению естественной степной растительности, создание лесополос и закрепление песков посадками кустарников, где содержание и запасы гумуса относительно стабилизируются (табл. 1).

Период биологической активности каштановых почв в значительной степени зависит от влагообеспеченности вегетационного сезона, а из-за засухи

может сокращаться до 70 дней. Интенсивность биологической активности изменяется от очень слабой (15–25%) до средней 30–45%. Анализ полученных результатов выявил следующее: 1) микроорганизмы очень устойчивы к недостатку влаги в почвах, что подтверждается относительно большой их общей численностью (табл. 2); 2) для микробиологического профиля характерно приповерхностное концентрирование в слое почвы 0–10 см, с глубиной их численность резко (в 2,8 и 4,1 раз) уменьшается, особенно бактерий; 3) в составе микробоценозов существенна доля ксерофитных форм: 25,6–48,2% спорообразующих и 37,4–42,5% актиномицетов. В почвах под деградированным травостоем снижается обогащенность их микроорганизмами от среднего уровня до бедного.

Содержание микробной биомассы в почве служит надежным индикатором качественных изменений [2, 3].

Таблица 2

Структура микробоценоза (м/о) в дефлированных каштановых почвах

Слой поч- вы, см	МПА		КАА		Гри- бы	Об- щее число м/о	Обогащен- ность почв м/о, млн/см ²		Количе- ство м/о в 1 г гу- муса, млн.	КАА МПА
	общее число	из них споро- обра- зующих	общее число	из них актино- мице- тов			МПА	КАА		
Супесчаные										
Злаково-твердovатоосочковoe пастбище										
0–20	1460	530	2352	1050	6	2516	40**	64**	180	1,61
Пашня окультуренная										
0–20	3079	579	4233	1965	14	5058	89*	124*	278	1,37
Пашня среднедефлированная										
0–20	1760	790	2980	1360	9	3129	49**	83**	307	1,69
Пашня сильнодефлированная										
0–20	1501	820	2700	1257	5	2763	42**	55**	419	1,80
Легкосуглинистые										
Оттянутомятливое пастбище с регулируемым выпасом										
0–10	2695	962	3458	1892	6	4593	74*	101*	190	1,28
10–20	2180	684	2847	1614	3	3797			168	1,31
20–30	415	144	952	702	1	1118			115	2,29
Твердоватоосочковoe пастбище, деградированное										
0–10	1860	896	2877	1312	3	3175	57*	82**	227	1,55
10–20	1506	626	2342	900	1	2407			178	1,56
20–30	710	182	1265	405	0,3	1115			108	1,78

* – Средняя; ** – бедная.

Наибольшая микробная масса (1,26–1,50 т/га сухого вещества) характерна для почв под ненарушенными травостоями, тогда как под деградированными – 1,06 т/га.

В пахотных каштановых почвах в первую очередь снижается доля илистой фракции и количество гумуса в ней, а развитие дефляционных процессов усиливает эту тенденцию. Однако с илистой фракцией связано от 58 до 73% дыхательной активности, с пылевой – от 21 до 55% и с песчаной – от 6 до 19%. Следовательно, при опесчанивании каштановых почв меняется их биологическая активность. Перестраивание микробоценоза сопровождается снижением общей численности микроорганизмов и особенно грибов, уменьшением биогенности (табл. 2). Одновременно увеличивается доля ксерофитного комплекса (актиномицетов и спорообразующих бактерий). Например, в окультуренной пашне доля спорообразующих бактерий составляет 18,8% и актиномицетов – 38,8%, а в средне- и сильнодефлированных разностях их долевое участие увеличивается до 44,9% и 43,5%, 54,6% и 45,5% соответственно. Обогащенность дефлированных пахотных почв микроорганизмами, использующих минеральные и органические источники питания, бедная, соответственно в 1,8–2,1 и 1,5–2,3 раза меньше, чем в окультуренной пашне, что обусловлено низкой обеспеченностью почв подвижными питательными веществами и легкоразлагаемым органическим материалом. Запасы микробной массы в дефлированных почвах составляют 0,55–0,76 т/га. Эти изменения обуславливают развитие минерализационных процессов в почве, что подтверждается возрастанием величин коэффициента минерализации, а также повышением количества микроорганизмов в 1 г гумуса.

Таким образом, изменение гранулометрического состава в каштановых почвах при развитии деградации и дефляции, вызывает перестройку микробоценозов и, как следствие, ухудшение гумусного состояния и снижение его устойчивости. На современном этапе в Забайкалье сложилась уникальная возможность вторичного «остепнения» склонов с непродуктивной пашней, которая находится в залежном состоянии, что позволит не только остановить дефляционные процессы, но и восстановить растительный покров и плодородие каштановых почв.

Литература

1. Абидаева Т.В., Соколова Т.А. Глинистые минералы и калийное состояние степных почв Западного Забайкалья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 100 с.
2. Scholes M.C., Powlson D., Tian G. Input control of organic matter dynamics // *Geoderma*. 1997. Vol. 79. P. 25–27.
3. Von Lutzow M. [et al.] Indications for soil organic matter quality in soils under different management // *Geoderma*. 2002. Vol. 105. P. 243–258.

Оценка активности каталазы в аллювиальной почве при загрязнении нефтью

К.С. Надежкин*, Л.В. Яковлева, Е.М. Столярова

*Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева,
Астрахань, Россия*

** nadegkink@mail.ru*

Аннотация. Мониторинг нефтезагрязненных земель является ключевым моментом в оценке влияния нефтезагрязнения на почву и в процессе проведения восстановительных работ. В статье рассматривается влияние нефтяного загрязнения на каталазную активность аллювиальной луговой почвы после проведения рекультивации на территории бывших наливных ям Астраханской области. В результате проведенных исследований было установлено, что нефтяное загрязнение снижает активность каталазы. Обнаружена прямая зависимость степени ингибирования каталазы от концентрации нефти. Исследование показало, что каталаза является чувствительным биомаркером для оценки степени загрязнения и экологического состояния почвы после ремедиации.

Ключевые слова: нефть, почва, нефтяное загрязнение, активность каталазы, экологический мониторинг

Evaluation of catalase activity in alluvial soil contaminated with oil

K.S. Nadezhkin*, L.V. Yakovleva, E.M. Stolyarova

Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russian Federation

** nadegkink@mail.ru*

Summary. Monitoring of oil-contaminated lands is a key point in assessing the impact of oil pollution on the soil and in the process of restoration work. The article considers the impact of oil pollution on the catalase activity of alluvial meadow soil after reclamation in the territory of former filling pits in the Astrakhan region. As a result of the studies, it was found that oil pollution reduces the activity of catalase. A direct dependence of the degree of catalase inhibition on the concentration of oil was found. The study showed that catalase is a sensitive biomarker for assessing the degree of pollution and the ecological state of the soil after remediation.

Keywords: oil, soil, oil pollution, catalase activity, environmental monitoring

Каталаза – это фермент, играющий ключевую роль в детоксикации перекиси водорода, образующейся в результате метаболических процессов микроорганизмов [1]. Измерение активности каталазы позволяет оценить не только состояние почвы, но и её способность к самовосстановлению и адаптации к условиям загрязнения.

Нефтезагрязнение почвы приводит к значительным изменениям в её микробиологическом составе и функциональной активности. В результате воздействия углеводородов происходит подавление жизнедеятельности многих микроорганизмов, что может привести к снижению каталитической активности ферментов, включая каталазу. Важность изучения каталазы в контексте нефтезагрязнения заключается в том, что этот фермент может служить индикатором состояния экосистемы и её способности к восстановлению [2].

Цель исследования: изучение влияния нефтяного загрязнения на каталазную активность аллювиальной луговой почвы Приволжского района Астраханской области.

Территория района исследования представлена бывшими нефтяными «Соколовскими ямами». Данные нефтешламонакопители представляют собой земляные ямы, организованные купцами Соколовым и Ассадулаевым в начале XX в. для хранения отходов нефтепереработки, которые в дальнейшем получили название «Соколовские ямы». На протяжении длительного времени хозяин этих хранилищ неоднократно менялся. С 50-х гг. XX века нефтеналивные ямы более 40 лет эксплуатировались «Главнефтьснабом» для приема нефтесодержащих отходов после зачистки всех нефтебаз Астраханской области, а в последнее время «Соколовские ямы» оставались заброшенными и бесхозными. В 2022 г. на территории бывших «Соколовских ям» была проведена рекультивация.

Почвенный покров территории исследования представлен хемоземами, загрязненными углеводородами по аллювиальной почве, приуроченными непосредственно к самим ямам и окружающему пространству, а также аллювиальными луговыми среднесуглинистыми почвами на рыхлых аллювиальных отложениях [3]. Для исследования каталазной активности почв были заложены 3 почвенных разреза: один непосредственно около ямы (ПР № 1), остальные на расстоянии 50 м и 500 м к югу от бывшего источника загрязнения (ПР № 2 и ПР № 3 соответственно). Почвенные образцы отбирали по слоям 0–10 см, 10–20 см и 20–30 см. Определение в них степени загрязнения нефтепродуктами осуществляли в аккредитованной лаборатории по ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 на Концентратомере КН-2. Оценку степени загрязнения исследуемого почвенного покрова нефтепродуктами проводили по содержанию загрязнителя относительно предельно допустимой концентрации (ПДК) вещества в почве. В качестве ПДК для нефтеуглеводородов принято значение, установленное Письмом Минприроды РФ № 04–25 от 27.12.1993 г. «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» и составляющее 1000 мг/кг.

Каталазную активность почвы определяли газометрически по Галстяну [4]. Достоинством указанного способа является то, что активность каталазы показала очень хорошие результаты в качестве диагностического показателя состояния почв. Данный фермент чувствителен и реагирует в сторону снижения активности при загрязнении почв нефтью и нефтепродуктами [6].

Данные по содержанию нефтепродуктов и активности каталазы в почвенных образцах представлены в таблице. Содержание нефтепродуктов в хемоземе, расположенном около нефтяной ямы (ПР № 1) превышает ПДК по всему почвенному профилю. Превышение концентрации нефтепродуктов в слое 0–10 см составляет 3,56 относительно ПДК в слое 0–10 см, 2,13 ПДК в слое 10–20 см, что соответствует высокому и среднему уровню загрязнения. С глубиной концентрация загрязнителя снижается, но остается выше ПДК, что соответствует второму уровню загрязнения – слабая степень загрязнения.

В почвенном разрезе № 2 превышение ПДК наблюдается в слое 10–20 и 20–30 см (1,82 ПДК и 1,61 ПДК соответственно). В верхнем слое почвы превышение ПДК не обнаружено.

В результате проведенных исследований установлено, что нефтяное загрязнение снижает активность каталазы.

Активность каталазы в аллювиальной почве, загрязненной нефтью

№ почвенного разреза	Слой, см	Содержание нефтепродуктов, мг/кг	Активность каталазы, O_2 см ³ /г за 1 мин
ПР № 1	0–10	3560	4,3
	10–20	2130	4,2
	20–30	1020	2,9
ПР № 2	0–10	509	6,3
	10–20	1820	2,8
	20–30	1610	2,8
ПР № 3	0–10	410	6,3
	10–20	780	3,6
	20–30	920	3,1

Общие тенденции изменения указывают на то, что наибольшая активность каталазы наблюдается в верхних слоях почвы. С увеличением глубины активность каталазы снижается, что может быть связано с уменьшением количества микроорганизмов и доступности кислорода. При сравнительном анализе почвенных образцов обнаружено, что максимальная активность зафиксирована на глубине 0–10 см (6,3 см³/г/мин), что соответствует средней активности каталазы; минимальная (2,8 см³/г/мин) на глубине 20–30 см – слабая активность каталазы. Динамика активности каталазы коррелировала с содержанием нефтепродуктов в почве.

Таким образом, проведенная экспериментальная оценка активности каталазы в нефтезагрязненной почве позволила установить, что загрязнение нефтью снижает активность каталазы в почве, что указывает на угнетение микробиологической активности и ухудшение способности почвы к детоксикации перекиси водорода. Глубина залегания влияет на активность фермента: чем глубже слой почвы, тем ниже активность каталазы, что связано с уменьшением количества микроорганизмов и ухудшением условий для их жизнедеятельности.

Активность каталазы напрямую зависит от уровня низкомолекулярных углеводородных соединений. Следовательно, параметры ферментативной активности могут предоставить полезную информацию о реакции почвы на нарушение, вызванное загрязнением, и позволяют оценить восстановила ли почва свое здоровое состояние, и в какой степени.

Литература

1. Белоусов А.А. Оценка активности каталазы чернозема выщелоченного при разных способах основной обработки // Вестник КрасГАУ. 2015. № 11. С. 10–16.
2. Возможные пути деструкции полиароматических углеводородов нефти некоторыми видами бактерий-нефтедеструкторов, выделенными из эндо- и ризосферы растений / Л.А. Беловежец [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. Т. 53, № 1. С. 76–81.
3. Яковлева Л.В. [и др.] Оценка содержания нефтепродуктов в почвах на территории Соколовских ям Астраханской области // Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 6 (54). С. 105–112.
4. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 185 с.
5. Жубанова А.А. [и др.] Конструирование цианобактериального консорциума на основе аксеничных культур цианобактерий и гетеротрофных бактерий для биоремедиации нефтезагрязненных почв и водоемов // Физиология растений. 2013. Т. 60, № 4. С. 588–595.
6. Панов А.В. [и др.] Влияние загрязнения почвы на состав микробного сообщества // Микробиология. 2013. Т. 82, № 2. С. 239–246.

УДК 631.423

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-50

Влияние инвазионных короедов на свойства подстилки и почвы кедровых лесов Томской области

А.Н. Никифоров*, Л.Г. Никонова, А.Е. Зеленцова

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО

РАН, Томск, Россия

** a.nik-n@mail.ru*

Аннотация. В работе приведены результаты процессов трансформации органо-генных и минеральных горизонтов почв кедровников Томского района под влиянием инвазионного дендрофага (*Ips amitinus* (Eichh.)). Проведенные исследования характеризуют два участка, отражающие разные стадии трансформации кедрового леса (не нарушенный и деградированный). Выявлено, что зоогенная трансформация кедрового леса приводит к изменению подчиненных ярусов растительности, подстилки и почв.

Ключевые слова: органическое вещество почв, углеродный баланс, почвенное дыхание, водорастворимый почвенный углерод

The influence of invasive bark beetles on the properties of litter and soil of cedar forests in the Tomsk region

A.N. Nikiforov*, L.G. Nikonova, A.E. Zelentsova

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the SB RAS,
Tomsk, Russian Federation*

* a.nik-n@mail.ru

Summary. The paper presents the results of the transformation processes of organogenic and mineral horizons of soils of cedar forests in the Tomsk region under the influence of an invasive dendrophage (*Ips amitinus* (Eichh.)). The conducted studies characterize two areas reflecting different stages of transformation of the cedar forest (undisturbed and degraded). It was revealed that zoogenic transformation of cedar forest leads to changes in subordinate layers of vegetation, litter and soils.

Keywords: soil organic matter, carbon balance, soil respiration, water-soluble soil carbon

В настоящий момент кедровые леса Западной Сибири занимают площадь 12,7 млн га [1]. Вместе с тем значительный массив кедровников подвергается воздействию инвазионного дендрофага – *Ips amitinus* (Eichh.) [2]. В связи с этим возникают опасения относительно стабильности лесов Сибири и выполнения ими углерод депонирующей функции.

Гумусовый профиль почв сохраняет информацию о трансформационных процессах, затрагивающих свойства почв и обусловленных изменениями сочетания и интенсивности влияния факторов внешней среды. Он представляет собой некое хранилище информации об эволюции природной среды на разных этапах педогенеза [3, 4].

Огромный интерес вызывает баланс углерода в почвах. Расход CO₂ в результате почвенного дыхания является одной из ключевых составляющих глобального цикла углерода [5].

Мортмасса лесных экосистем выступает в качестве связующего компонента между растительными сообществами и почвами, выступая источником органического вещества, включенного в биогеохимический цикл и оказывающего разностороннее и разнонаправленное воздействие на микробиом [6].

В качестве объектов исследования послужили поверхностные органогенные и минеральные горизонты темно-серых почв двух припоселковых кедровников, находящихся на разных стадиях деградации древесного компонента леса – Лучаново-Ипатовский (нарушенный) и Коломинский (ненарушенный).

Параллельно с анализом образцов почв был проведен полевой эксперимент по скорости разложения растительных остатков методом частично изолированных проб [7, 8]. Опад доминирующих видов растений отобран в 2023 г. и разобран по фракциям. Для проведения натурного эксперимента фиксированные образцы закладывались под подстилку и изымались через 2 месяца после инкубации для проведения аналитических исследований.

Физико-химические свойства растительных образцов, подстилок и почв проведены общепринятыми методами. Количественный анализ углерода и азота проводился с помощью элементного анализатора CHNS-O (VELP Scientifica, Италия), а содержание водорастворимых форм при помощи элементного анализатора NC (ТОПАЗ NC Анализатор элементного состава, Россия). Оценка сезонной динамики почвенного дыхания проведена на основе инфракрасного газоанализатора LI-8100A (Li-cor Biogeosciences Inc., США).

Результаты исследования показали, что к 2024 г. суммарные запасы углерода в верхнем полуметре почв исследованных участков достигли в ненарушенном – 158,2 тС/га, в нарушенном – 298,8 тС/га. Доля запасов углерода в подстилках составила 11 и 2% соответственно [9]. Запасы водорастворимых форм углерода в ряду трансформации характеризуются следующими значениями: ненарушенный участок – 4,8 тС/га, нарушенный – 1,4 тС/га, что может объясняться формированием ячеистой структуры леса типа «окно-дерево», сменой гидротермического режима и увеличением скорости миграции биогенных элементов.

Исследования Ипатовского припоселкового кедровника, начатые еще А.Г. Дюкаревым, охватывают временной период более чем в 25 лет. Результаты показали, что зоогенная сукцессия поспособствовала последовательному увеличению запасов углерода (табл. 1).

Таблица 1

Запасы углерода в органогенных и минеральных горизонтах в динамике в пределах верхнего полуметра на участке Ипатово (т/га)

Год обследования	Подстилка	Минеральная масса
1998	8,0	36,0
2021	12,0	68,0
2023	17,0	83,0

Однако остается проблема более точного подсчета запасов углерода в подстилках разных участков относительно дерева (межкроновый, подкроновый, приствольный). Результаты исследования в кедровниках показали, что в межкроновых участках мощность подстилки варьирует от 1 до 3 см, в подкроновом – 1–5 см, а в приствольном 5–45 см, а в отдельных случаях достигает 60 см.

Полученные результаты по скорости эмиссии CO₂ из почв показали, что в ненарушенном кедровнике почвенное дыхание характеризуется большей интенсивностью и составляет 0,44 г CO₂ в час, в то время как в нарушенном оно составляет 0,10 г CO₂ в час. Отметим, что влияние опада и подстилки обоих участков вносит весомый вклад как в интенсивность эмиссии, так и в глобальный цикл углерода.

Исследованные физико-химические свойства опада ненарушенного и деградированного участков характеризуются следующими показателями (табл. 2).

**Исходные физико-химические особенности растительного опада
лесных экосистем**

Растительные остатки	Зольность, %	C, %	N, %	C/N	pH _{акт}
Хвоя <i>Pinus sibirica</i>	3,51	47,49	1,69	28,02	4,50
Подстилка нарушенного кедрового леса	30,31	32,61	1,12	29,12	6,33
Подстилка ненарушенный кедровый лес	6,63	37,66	1,26	29,89	5,61
Листья <i>Aegopodium podagraria</i>	11,40	41,45	2,55	16,25	6,82

В целом все подстилки и отдельные ее компоненты характеризуются близкими значениями содержания углерода и азота. Однако более высокими значениями общего азота и углерода, узким соотношением C/N, а, следовательно, и большей доступностью опада для почвенной микрофлоры характеризуются листья сныти, широко распространенной на обоих участках.

На первых этапах разложения в деградированном и ненарушенном кедровнике наибольшей скоростью характеризуются листья сныти (90 и 94% соответственно), минимальными подстилки (42 и 57% соответственно). Вынос азота происходит неоднозначно. В ненарушенном кедровнике выноса этого элемента в ходе краткосрочной деструкции не наблюдается в течении двух месяцев. В остальных исследованных образцах происходит существенный вынос азота уже на начальных этапах деструкции. Не менее важен такой показатель как зольность и ее изменение в процессе разложения. Установлено, что при зоогенной трансформации фитоценоза не происходит существенного снижения зольности листьев сныти, в то время как зольность хвои сосны заметно снижается уже на начальных этапах разложения.

Таким образом, вклад подстилки в общие запасы углерода при зоогенной трансформации существенен и достигает более чем 9% по сравнению с ненарушенным участком. Резкое нарушение фитоценоза привело к интенсивному накоплению углерода, что отразилось в росте его запасов, однако водорастворимые его формы выносятся интенсивнее. Наибольшей доступностью для микробиоты характеризуются листья сныти, демонстрируя большую потерю массы при деструкции, в то время как в подстилках наблюдается меньшая скорость разложения, что может свидетельствовать о труднодоступности органического вещества для микроорганизмов.

Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований, направленных на более глубокое понимание процессов почвообразования и их влияния на баланс углерода в экосистемах, находящихся на разных стадиях сукцессии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научной темы «Потоки и баланс углерода в лесных и болотных экосистемах юга таежной зоны Западной Сибири: комплексный мониторинг, анализ и прогноз» (FWRG-2025-0002, Регистрационный номер 1024100800092-1).

Литература

1. Данченко А.М., Бех И.А. Кедровые леса Западной Сибири. Томск: Томский государственный университет, 2010. 424 с.
2. Кривец С.А. [и др.] Вспышка массового размножения и оценка риска распространения союзного кородея в кедровых лесах Томской области // Лесоведение. 2023. № 2. С. 116–131. doi: 10.31857/S0024114823020031
3. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. 288 с.
4. Каллас Е.В. Разнообразие гумусовых профилей почв экотона тайга-степь юго-восточной части Западной Сибири // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 12. С. 7–11.
5. Гончарова О.Ю. [и др.]. Автотрофное и гетеротрофное дыхание почв криолитозоны: оценка вкладов и методические подходы (на примере почв севера Западной Сибири) // Сибирский экологический журнал. Москва. 2019. Т. 26, № 6. С. 654–667.
6. Aponte C., García L. V., Marañón T., Tree species effects on nutrient cycling and soil biota: A feedback mechanism favouring species coexistence // Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 309. P. 36–46.
7. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л.: Наука ЛО, 1978. 172 с.
8. Moore T.R. [et al.] Can short-term litter-bag measurements predict long-term decomposition in northern forests? // Plant and soil. 2017. Vol. 416. P. 419–426.
9. Никифоров А.Н. Содержание, распределение и запасы углерода в органогенных и минеральных горизонтах почв кедровников Томской области // Всероссийская научная конференция с международным участием «Продуктивность лесов в условиях меняющегося климата». Петрозаводск, 2024. С. 72.

УДК 631.421

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-51

Влияние микропластика на темпы роста и развития семян рукколы

К.В. Ручкина*, О.Э. Мерзляков, А.С. Бабенко

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия*

** Ruchkinakristina99@mail.ru*

Аннотация. Проведен лабораторный эксперимент по изучению влияния двух типов микропластика (акрилонитрилбутадиенстирол и полиэтилентерефталат) на прорастание и рост семян раннеспелого сорта рукколы «Гурман» при концентрациях 1%, 5% и 10% по об./об. грунта. Результаты эксперимента демонстрируют снижение качества прорастания семян, замедление роста и уменьшение биомассы урожая даже при минимальном содержании микропластика в грунте. Наибольшее угнетение проявлялось при высоких концентрациях МП типа ПЭТ.

Ключевые слова: микропластик, грунт, полиэтилентереффт, акрилонитрилбутадиенстирол, фитомасса

The effect of microplastics on growth and development rates of arugula seeds

K.V. Ruchkina*, O.E. Merzlyakov, A.S. Babenko

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

** Ruchkinakristina99@mail.ru*

Summary. A laboratory experiment was conducted to study the effect of two types of microplastics (acrylonitrile butadiene styrene and polyethylene terephthalate) on the germination and growth of the early-ripening arugula variety (Gourmand) at different concentrations (1%, 5% and 10% by volume/volume of soil). The results of the experiment demonstrate a decrease in the quality of seed germination, growth retardation and a decrease in the biomass of the crop even with a minimum content of microplastics in the soil. The greatest inhibition was manifested at high concentrations of MPs such as PET.

Keywords: microplastic, soil, polyethylene terephthalate, acrylonitrile butadiene styrene, phytomass

Микропластик (МП) – это мелкодисперсные полимерные частицы размером менее 5 мм, которые образуются в результате деградации крупных пластиковых изделий или производятся в виде микрогранул для использования в косметике и других промышленных продуктах. За последние десятилетия проблема загрязнения окружающей среды микропластиком приобрела глобальный масштаб, затрагивая как водные, так и наземные экосистемы. Одним из наиболее тревожных аспектов является влияние МП на почву и растительность, что может иметь серьезные последствия для экосистем, так как система почва-растение является незаменимым её компонентом, поддерживая глобальное биоразнообразие и обеспечивая продовольственную безопасность в мире.

Современные научные исследования показывают, что МП может оказывать разнообразное воздействие на систему почва-растение в зависимости от таких факторов, как форма частиц, размер, концентрация, тип МП, характеристика поверхности, структура почвы и вид растений. Воздействие микропластика на растения варьируется от органов до растительных сообществ, однако его прямое воздействие на растения в основном физическое.

Имитационный эксперимент Jia et al., [1], показывает, что загрязнение почвы микропластиком влияет как на надземную, так и на подземную часть почвенной экосистемы. Снижается высота и скорость прорастания семян, так как он может оказывать значительный ингибиторный эффект на рост растений, блокируя клеточные соединения или поры клеточной стенки для переноса питательных веществ [2].

Bosker et al. [3] обнаружили, что семена, подвергшиеся воздействию микропластика в течение 8 часов, прорастают дольше, что может быть связано с физической закупоркой пор МП в семенной капсуле, что препятствует поглощению воды семенами. МП также может прилипать к поверхности корней и вызывать физическую закупорку корневых пор [4]. Корни могут быть повреждены физически при контакте с микропластиком с острыми краями.

Кроме того, волокна МП могут запутывать молодые корни растений и мешать их росту [5].

Если растение представляет собой сельскохозяйственную культуру, это также может означать, что МП может попасть в часть растения, предназначенную для потребления человеком или домашним скотом, таким образом попадая в пищевую цепь [6].

Данная работа посвящена изучению влияния микропластика на стадии роста и фитомассу рукколы (индау) «Гурман» (*Eruca sativa*). Раннеспелый сорт (50–60 дней), отличающейся высоким содержанием полезных веществ и востребованностью в пищевой индустрии. Согласно агротехническим характеристикам, одно растение должно достигать массы порядка 30–80 грамм.

Для изучения влияния микропластика на рост семян рукколы был поставлен лабораторный эксперимент с использованием двух типов микропластика: акрилонитрилбутадиенстирола (АБС) и полиэтилентерефталата (ПЭТ). Исследование проводилось по следующей схеме:

- Контроль (3 повторности);
- АБС (3 повторности) концентрацией 1; 5 и 10% по об./об. грунта;
- ПЭТ (3 повторности) с концентрацией 1; 5 и 10% по об./об. грунта.

В качестве субстрата использовался грунт «Гарант» Оптиум, который был предварительно проанализирован на содержание органического углерода и элементов питания растений. Для каждой повторности использовался грунт объемом 200 мл, помещенный в стеклянные стаканы объемом 250 мл. Микропластик представлял собой фрагменты прозрачного цвета, которые были измельчены и просеяны через сито диаметром 0,1 мм, так как более мелкие частицы МП являются предпочтительными, поскольку они с большей вероятностью будут встречаться в окружающей среде и взаимодействовать с почвой, тканями и органами растений.

Руккола была высажена по 5 семян в каждый стакан. Перед посадкой грунт был насыщен влагой до достижения полной влагоемкости (100 мл воды). Полив растений осуществлялся каждые два дня с использованием 25 мл воды. Для обеспечения оптимальных условий освещения использовалась фитолампа полного спектра.

В вариантах с минимальной концентрацией АБС и ПЭТ (1%) наблюдалось прорастание только 4 из 5 семян. Это указывает на потенциальное негативное воздействие даже низких концентраций микропластика на процесс прорастания семян рукколы. Важно отметить, что прорастание является критическим этапом в жизни растения, и любые отклонения от нормы могут повлиять на дальнейший рост и развитие.

При увеличении концентрации АБС и ПЭТ до 5% наблюдалось общее ухудшение состояния растений рукколы. Это может быть связано с тем, что более высокие концентрации микропластика могут блокировать доступ воды и питательных веществ к корням, что приводит к стрессу для растений (рисунок).

Кроме того, наблюдаемое резкое сокращение биомассы растений, достигающее десятикратного уменьшения относительно заявленной агротехнической

характеристики, подтверждает предположение о глубоких нарушениях физиологических процессов, связанных с присутствием МП в грунте (таблица).



Биомасса растений рукколы спустя 50 дней после посева (фото К.В. Ручкиной):
1 – контроль; 2 – ПЭТ (1%); 3 – ПЭТ (5%); 4 – ПЭТ (10%); 5 – АБС (1%); 6 – АБС (5%); 7 – АБС (10%)

Биомасса растений рукколы спустя 50 дней после посева

№	Тип МП	Концентрация МП, %	Биомасса, г	Среднее, г
1	Контроль	—	2,12	2,48
2		—	4,37	
3		—	0,95	
4	ПЭТ	1	0,47	1,71
5			1,57	
6			3,09	
7		5	0,25	0,15
8			0,18	
9			0,01	
10		10	4,58	3,86
11			1,98	
12			5,01	
13	АБС	1	4,46	3,22
14			0,20	
15			5,00	
16		5	1,96	3,29
17			4,08	
18			3,82	
19		10	4,74	3,94
20			3,21	
21			3,86	

Снижение биомассы, возможно, обусловлено физическими факторами, такими как затруднения при транспорте воды и питательных веществ из-за блокировки микропластиком пористых структур клеточных мембран и эпидермиса, а также механическое повреждение корневой системы и листьев, которое ведет к нарушению фотосинтеза и дыхания растений. Это подчеркивает необходимость дальнейших исследований для понимания механизмов воздействия микропластика на растения и экосистему в целом.

Важно отметить, что влияние микропластика может варьироваться в зависимости от типа пластика, его размера и формы, а также от условий роста растений. Пробы с добавлением ПЭТ показали наибольшее ухудшение состояния растений, так как с АБС состояние растений рукколы было лучше, чем в контроле.

Полученные результаты показывают, что микропластик оказывает негативное воздействие на рост рукколы. Даже при низких концентрациях (1%) наблюдаются отклонения в прорастании семян, а при повышении концентрации МП до 5% существенно усугубляется ситуация, вызывая значительное угнетение роста и общего состояния растений, что проявляется общей депрессией метаболизма и постепенным развитием симптомов увядания, отражающих физиологический стресс.

Исследование влияния микропластика на произрастание растений, в частности рукколы, выявляет серьезные экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды пластиковыми отходами. Кроме того, это исследование открывает новые направления для дальнейших исследований в области экологии и агрономии, которые помогут понять, как можно минимизировать негативные последствия воздействия МП.

Литература

1. Jia L. [et al.] Microplastic stress in plants: effects on plant growth and their remediations // *Front Plant Sci.* 2023. № 14. P. 1226484.
2. Yang W. [et al.] Effects of microplastics on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in a soil spiked with ZnO nanoparticles // *Soil Biol Biochem.* 2021. № 155. P. 108179.
3. Bosker T. [et al.] Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum* // *Chemosphere.* 2019. № 226. P. 774–781.
4. Gao M. [et al.] Effect of polystyrene on di-butyl phthalate (DBP) bioavailability and DBP-induced phytotoxicity in lettuce // *Environmental Pollution.* 2021. № 268. P. 115870.
5. Iqbal B. [et al.] Influence of soil microplastic contamination and cadmium toxicity on the growth, physiology, and root growth traits of *Triticum aestivum* L. // *South African Journal of Botany.* 2023. № 160. P. 369–375.
6. Rillig M.C. [et al.] Shaping up: toward considering the shape and form of pollutants // *Environ Sci Technol.* 2019. № 53. P. 7925–7926.

Миграционная способность нефтепродуктов в грунтах на территории АО «Красноярскнефтепродукт»

А.В. Семенюк, К.В. Ручкина*, О.Э. Мерзляков,

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск, Россия*

** Ruchkinakristina99@mail.ru*

Аннотация. Представлены данные модельного лабораторного опыта по обоснованию водного миграционного коэффициента в грунтах на территории АО «Красноярскнефтепродукт».

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, техногенные поверхностные образования (ТПО), водный миграционный коэффициент, предельная допустимая концентрация (ПДК), ориентировочный водно-миграционный показатель (ОВМПв)

Migration capacity of oil products in soils on the territory of JSC Krasnoyarsknefteprodukt

A.V. Semenyuk, K.V. Ruchkina*, O.E. Merzlyakov

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

** Ruchkinakristina99@mail.ru*

Summary. The data of a model laboratory experiment on the substantiation of the water migration coefficient in soils on the territory of JSC Krasnoyarsknefteprodukt are presented.

Keywords: oil, oil products, technogenic surface formations (TPO), water migration coefficient, maximum permissible concentration (PDK), maximum permissible concentration of organic matter, approximate water migration indicator (OVMPv)

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами представляет собой глобальную экологическую проблему. Высокая миграционная подвижность нефтепродуктов способствует их быстрому распространению в различных природных средах, включая почву, поверхностные и грунтовые воды, донные отложения, атмосферу, флору и фауну. Нормирование содержания нефтепродуктов в почве остается актуальной задачей ввиду отсутствия единых стандартов оценки качества почвенного покрова. Критически важным аспектом нормирования загрязняющих веществ в почвах выступает поддержание устойчивого функционирования экосистем, обеспечивающего сохранение биоразнообразия и предотвращение деградационных процессов.

Данная работа посвящена изучению особенностей миграции нефтепродуктов в техногенных поверхностных образованиях (ТПО) на примере территории Красноярской нефтебазы АО «Красноярскнефтепродукт».

Изученные образцы ТПО обладают супесчаным гранулометрическим составом, непосредственно влияющим на повышенную миграционную способность нефтепродуктов. Современные научные исследования доказывают [1, 2], что в песчаных почвах/грунтах миграционная способность нефтепродуктов выражена значительно сильнее, чем в тяжелосуглинистых. ТПО содержат большое количество скелетной части и по классификации Н.А. Качинского [3] характеризуются как сильнокаменистые. Если рассматривать каменистость как фактор миграции, можно заметить, что она оказывает двойственное воздействие на процессы миграции загрязняющих веществ: с одной стороны, крупные частицы могут служить естественным барьером, замедляющим поступление загрязняющих веществ в почву, с другой стороны, наличие крупных включений иногда способствует аккумуляции вредных соединений в отдельных частях горизонта почвенного профиля. Содержание углерода в ТПО варьируется в диапазоне от 1,4 до 2,7%. Это обусловлено тем, что нефтепродукты на 90% состоят из углерода и могут напрямую служить его источником в окружающей среде. ТПО характеризуются щелочной реакцией среды. Наличие нефтяного загрязнения также ведет к изменению физико-химических свойств почвенной среды, вызывая повышение pH раствора и снижение гидролитической кислотности. Более того, введение нефтепродуктов вызывает изменения в структуре почвенного поглотительного комплекса (ППК): уменьшается доступность основных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , вследствие замещения их остаточными соединениями нефтяной природы.

Лабораторный опыт по обоснованию миграционного водного показателя проводился в фильтрационных колонках. Трубы разделялись на отрезки по 25 см длиной и из них с помощью фиксаторов собиралась колонка длиной 100 см. Колонка наполнялась образцами, отобранными из трех скважин базы, при заполнении каждого кольца образцы ТПО уплотнялись до объемного веса, близкого к объемному весу в естественных условиях (рисунок). Это обеспечивало равномерную фильтрацию влаги через весь слой почвы. К нижнему концу собранной колонки с помощью фиксатора крепилась воронка, заполненная для дренажа битым стеклом [4]. Дополнительно были отобраны пробы для проведения лабораторных анализов.

В процессе эксперимента в каждую колонку было пролито 265,949 литров дистиллированной воды. Площадь полной поверхности колонки составляла 0,3299 м². Это означает, что на каждый квадратный метр поверхности приходилось 806,15 литров воды. Для г. Красноярска средняя многолетняя норма осадков равняется 530,03 мм. Если сопоставить данные, количество использованной дистиллированной воды эквивалентно полуторогодовой норме осадков для данной местности.



Отбор ТПО на участке АО «Красноярскнефтепродукт» (фото А.Н. Блохина)

Уровень предельно допустимой концентрации (ПДК) рыбохозяйственно-го значения ($< 0,05 \text{ мг/дм}^3$) не был достигнут в фильтрационной колонке № 1 и № 2. Однако ПДК был достигнут в фильтрационной колонке № 3.

Для проб ТПО был проведен анализ на содержание нефтепродуктов до начала и после модельного лабораторного опыта. Согласно предварительным результатам исследований, пробы ТПО, по содержанию нефтепродуктов, оценивались от «2 (низкого)» до «5 (очень высокого)» уровня загрязнения.

Исследования в колонках позволили определить распределение нефте-продуктов по профилю почвы. В ходе изучения образцов фильтрационных колонок № 1 и № 3 было обнаружено присутствие битумных соединений в их составе. Эти соединения влияют на результаты содержания нефтепродуктов в пробах фильтрата, так как они обладают высокими адгезивными свойствами, высвобождаются нефтепродукты во время промывки, создавая постоянный приток загрязняющих компонентов в фильтрат, тем самым влияя на неста-бильность результатов исследования. В образцах фильтрационной колонки № 2 битумные вещества не были обнаружены, что делает её более подходя-щей для модельного лабораторного опыта.

После промывания в образцах фильтрационных колонок № 1 и № 3 наблюдается вынос нефтепродуктов с верхних горизонтов в нижний, что мо-жет быть связано с повышением сорбционной способности грунта в связи с увеличением содержания илистой фракции гранулометрического состава. Наибольшее изменение и уменьшение содержания нефтепродуктов наблюда-ется в образцах фильтрационной колонки № 2. Поэтому далее производилась фильтрация горизонта 0–25 см фильтрационной колонки № 2 отдельно, так как уровень загрязнения в ней на момент завершения лабораторного опыта

оказался самым низким, что предоставило возможность для более точных анализов на содержание нефтепродуктов в фильтрате. На всю колонку № 2 было пролито 265 949,96 мл. Отдельно через горизонт 0–25 см было пролито еще 275 980 мл и отобрано 7 проб фильтрата. В пробах № 5, 6, 7 результаты испытаний находились ниже диапазона измерений методики, что указывает на отсутствие нефтепродуктов в фильтрате. В итоге, для того чтобы достичь уровня ПДК содержания нефтепродуктов в воде, нужно, чтобы содержание нефтепродуктов в грунтах было менее (466 ± 117) мг/кг.

Данные расчета водно-миграционного показателя (ОВМП_в) [5] представлены в таблице.

Ориентировочный водно-миграционный показатель для исследованных ТПО [5]

Наименование пробы	ПДК рыб.хоз мг/л	С, мг/л	ОВМП _в
До промывания			
Разрез 1	0,05	1,77	35,40
Разрез 2		0,61	12,24
Разрез 3		0,28	5,54
После промывания			
Разрез 1	0,05	0,34	6,80
Разрез 2		0,26	5,20
Разрез 3		0,05	1,00

Образцы колонок № 1 и № 2 до процесса промывания относились к III классу опасности (умеренно опасные), в то время как образцы колонки № 3 классифицировались как IV класс опасности, что указывает об отсутствии отрицательного влияния на условия жизни и здоровье человека. После промывания образцы колонок №1 и №2 также перешли в IV класс опасности.

Литература

1. Опекунова М.Г. [и др.] Загрязнение почв севера Западной Сибири нефтяными и полициклическими ароматическими углеводородами: распределение и оценка экологического риска // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1442–1460.
2. Трофимов С.Я., Розанова М.С. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения // Дegrаdация и охрана почв. М., 2002. С. 359–373.
3. Шеин Е.В. Курс физики почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
4. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. М. 1982. 59 с.
5. О введении в действие СП 2.1.7.1386-03: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16 июня 2003 г. № 144 // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Режим доступа: локальная сеть Науч. б-ки Том. гос.ун-та.

Эколого-геохимические особенности поведения тяжелых металлов в почвах Кузнецкой лесостепи

В.П. Середина^{1*}, С.В. Овсянникова^{2}**

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

² *Кузбасский технический государственный университет им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово, Россия*

** seredina_v@mail.ru*

*** sv_ovsyannikova@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты исследования тяжелых металлов (ТМ) в почвах лесостепи Кузнецкой котловины. Проведен эколого-геохимический анализ поведения валовых и подвижных форм ТМ трех классов опасности, выявлены закономерности распределения и факторы, определяющие их пространственную и внутри профилльную дифференциацию.

Ключевые слова: Кузнецкая лесостепь, почвы, тяжелые металлы, содержание, эколого-геохимическая оценка

Ecological and geochemical features of the behavior of heavy metals in the soils of the Kuznetsk forest-steppe

V.P. Seredina^{1*}, S.V. Ovsyannikova^{2}**

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,

Kemerovo, Russian Federation

** seredina_v@mail.ru*

*** sv_ovsyannikova@mail.ru*

Summary. The article presents the results of the study of heavy metals (HM) in the soils of the forest-steppe of the Kuznetsk Basin. An ecological and geochemical analysis of the behavior of gross and mobile forms of HM of three hazard classes was carried out, distribution patterns and factors determining their spatial and intra-profile differentiation were identified.

Keywords: Kuznetsk forest-steppe, soils, heavy metals, content, ecological and geochemical assessment

Высокая концентрация разнообразных сырьевых ресурсов на территории Кузбасса обуславливает создание на их базе крупнейших горнорудных добывающих и перерабатывающих комплексов, являющихся источниками техногенного воздействия на компоненты окружающей среды. Одним из основных показателей загрязнения экосферы является содержание и поведение ТМ в почвах. Специфическая деградация и отчуждение земель происходит не только

на территориях горных отводов, но и на прилегающих естественных ландшафтах. В частности, это связано с неблагоприятным влиянием поллютантов, способных осаждаться на поверхность почв с угольной и промышленной пылью.

Цель исследования заключается в выявлении эколого-геохимических особенностей поведения тяжелых металлов в почвах на территории Кузбасса.

Объектами исследования послужили почвы естественных ландшафтов Кузбасса, приуроченные к опорным пунктам экологического мониторинга, и представленные дерново-подзолистой глееватой, агродерново-подзолистой, серой, агросерой, темно-серой, черноземом глинисто-иллювиальным, агро-черноземом глинисто-иллювиальным. Определение гранулометрического состава и свойств исследуемых почв проведено с использованием общепринятых лабораторных методов. Содержание валовых форм ТМ определено методом количественного спектрального анализа. Подвижные формы ТМ вытеснялись ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8 с последующим определением в вытяжке и минерализате атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре АS-3. В ходе обработки аналитических данных рассчитан коэффициент радиальной дифференциации почвенного профиля (R) по валовым и подвижным формам ТМ, кларк концентрации (K_k) по валовым формам, коэффициенты техногенного (K_c) и суммарного загрязнения (Z_c).

С учетом современных экотоксикологических данных ТМ по степени опасности делят на 3 класса. Среди исследованных элементов к I классу особо токсичных ТМ относят Pb, Zn и Cd. В изученных почвах максимум содержания этой группы элементов отмечается в гумусовых горизонтах. Это связано с тем, что органическое вещество играет одну из главных ролей в процессах миграции и сорбции ТМ. В частности, свинец может связываться только молекулами гумуса, так как из-за большого ионного радиуса он не может проникать в кристаллические решетки глинистых минералов. Следовательно, тип распределения свинца в исследованных почвах преимущественно биогенно-аккумулятивный. Для цинка, также, как и для свинца, характерен биогенно-аккумулятивный тип распределения, однако, в комплексах с фульвокислотами цинк способен выщелачиваться вниз по профилю. В процессах аккумуляции кадмия большую роль играет не только обогащение верхних горизонтов органическим веществом, но и образование в иллювиальных горизонтах комплексов с гидроксид-ионами монтмориллонитовых минералов, что соответствует биогенно-аккумулятивно-иллювиальному типу распределения данного элемента. В связи с этим, можно считать, что органогенные и иллювиальные горизонты служат естественными геохимическими барьерами на пути миграции рассмотренной группы ТМ.

В группу элементов II класса опасности входят Co, Cu, Ni. Важными факторами распределения и поведения Co в исследованных почвах являются органическое вещество и содержание глинистых частиц, обуславливающие биогенно-аккумулятивно-иллювиальный характер профильной дифференциации. Особенно большая роль в аккумуляции Co принадлежит глинистым минералам монтмориллонитовой и иллитовой групп из-за их высокой сорб-

ционной способности и относительно легкого высвобождения кобальта. Именно эти высокодисперсные минералы являются преобладающими в минералогическом составе широко распространенных автоморфных почв на территории Кузбасса. Для кобальта также характерно выщелачивание его низко валентных форм в нижнюю часть профиля, что приводит к элювиальному и элювиально-иллювиальному типам распределения. Для меди преимущественно характерен биогенно-аккумулятивный тип распределения, наиболее отчетливо проявляющийся в темно-серой и черноземных почвах, обогащенных органическим веществом. В тоже время для дерново-подзолистых почв характерен элювиально-иллювиальный тип распределения, что обусловлено образованием растворимых комплексов с гуминовыми и фульвокислотами. Радиальное распределение никеля определяется типовой принадлежностью почв и преимущественно зависит от содержания его в материнской породе. Характер распределения для данного элемента – элювиальный и элювиально-иллювиальный.

III класс тяжелых металлов – слабо токсичные (Mn и Cr) элементы. Как свидетельствуют данные, для Mn характерен биогенно-аккумулятивный тип распределения, связанный с его фиксацией органическим веществом. Однако он может накапливаться и в других почвенных горизонтах, особенно обогащенных оксидами и гидроксидами железа [1]. Хром относится к малоподвижным и инертным элементам слабо биологического захвата и его количество в профиле исследованных почв зависит, главным образом, от химического и минералогического состава почвообразующих пород, что подтверждается тенденцией к его максимальному содержанию в материнской породе с элювиально-иллювиальным характером распределения.

Сравнение содержания рассмотренных ТМ в верхних горизонтах исследуемых почв с их содержанием в земной коре [2] показывает, что кларк концентрации Pb, Cd, Cu, Ni, Co, Mn и Cr ниже кларка литосферы ($K_k < 1$). Кларк концентрации Zn в темно-серой почве незначительно превышен (1,24), что обуславливается его выраженной способностью связываться в нерастворимые соединения с гуминовыми веществами.

Подвижные химические вещества обуславливают возможность выполнения почвой ее основных экологических функций как естественноисторического тела природы и как источника плодородия и защиты от загрязнителей. Реакция среды и окислительно-восстановительный потенциал во многом определяют формы нахождения ТМ и их валентность, способность мигрировать в ландшафтах и в почвенном профиле, усваиваться растениями и выноситься с природными водами. Исследованные почвы приурочены к элювиальному ландшафту лесостепного типа с pH раствора от 5,5 до 7,5, в связи с чем в условиях окислительной обстановки можно выделить две ассоциации ТМ: слабоподвижные (Pb, Cd, Ni, Cu, Co, Cr, Mn) и подвижные (Zn).

Тяжелый гранулометрический состав исследуемых почв, в частности, высокое содержание физической глины (43,0–55,6%) и ила (16,4–30,5%) в значительной мере определяют содержание и подвижность ТМ. Максималь-

ная концентрация ТМ наблюдается в более тяжелых по гранулометрическому составу иллювиальных горизонтах, выступающих в качестве сорбционных геохимических барьеров на пути миграции металлов, связанных с растворимыми формами гумусовых кислот. В основе механизмов взаимодействия ТМ с почвами лежат процессы комплексообразования с фульвокислотами. Поскольку в качественном составе гумуса дерново-подзолистой глееватой и агродерново-подзолистой почвы преобладают фульвокислоты, то именно в этих почвах наблюдается образование фульватных комплексов с ТМ, обладающих повышенной миграционной способностью. Особенности группового и фракционного состава гумуса исследованных серых, темно-серых почв и черноземов (преобладание гуминовых кислот, связанных с кальцием), способствуют аккумуляции металлов в верхней части почвенного профиля.

Одним из наиболее важных показателей при оценке внутрипочвенной и внутриландшафтной миграции ТМ является величина рН. В исследованных черноземах отмечено влияние щелочного барьера, возникающего на участках резкого повышения рН среды в слабокислой геохимической обстановке. При увеличении значения рН в карбонатных горизонтах происходит накопление преимущественно катионогенных химических элементов, активно мигрирующих в кислой и слабокислой среде (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd). Таким образом, степень подвижности тяжелых металлов в изученных почвах Кузбасса определяется ОВП, гранулометрическим составом, содержанием органического вещества, кислотно-основными свойствами.

Полученные значения валовых и подвижных форм ТМ в верхних горизонтах почв превышают их ПДК и ОДК, а коэффициенты суммарного загрязнения указывают на отсутствие техногенной нагрузки на исследованные почвы.

Литература

1. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. Докучаева, 2008. 86 с.
2. Виноградов А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре // Геохимия. 1956. № 1. С. 6–52.

УДК 631.618

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-54

Депонирование углерода техногенными ландшафтами угольных месторождений

Д.А. Соколов

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
sokolovdenis@mail.ru*

Аннотация. По результатам анализа соотношения надземных и подземных запасов оценена доля кратко-, средне- и долгосрочно депонированного углерода в техно-

генных травяных и лесных экосистемах, сформированных на отвалах отходов добычи антрацита.

Ключевые слова: секвестрация углерода, углерод органических соединений почв, литогенное органическое вещество, эмбриоземы

Carbon sequestration by technogenic landscapes of coal deposits

D.A. Sokolov

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
sokolovdenis@mail.ru*

Summary. Based on the analysis of the ratio of aboveground and underground carbon stocks, the share of short-, medium-, and long-term deposited carbon in technogenic grassland and forest ecosystems formed on anthracite mining waste dumps is determined.

Keywords: carbon sequestration, soil organic carbon, lithogenic organic matter, embryozems

Отвалы отходов добычи угля представляют собой перспективные объекты, которые могут быть использованы для решения теоретических и прикладных задач, связанных с оценкой возможностей экосистем по эмиссии и поглощению климатически активных газов. С одной стороны, это обусловлено содержанием в отвалах большого количества некондиционного угля, который может выступать источником диоксида углерода. С другой, в такого рода техногенных ландшафтах происходит активное депонирование органического углерода, что является следствием восстановления почвенного покрова и растительности.

Для оценки углероддепонирующей способности техногенных экосистем в качестве объекта исследований был выбран внешний транспортный отвал Горловского антрацитового месторождения Новосибирской области. Комплексные исследования отвала проводились в 2018–2024 гг. Их основные результаты были получены, подробно описаны и опубликованы в серии статей [1–6]. Данная работа подготовлена с использованием ранее опубликованного материала и представляет собой обобщение материала, полученного при исследовании различных компонентов техногенных экосистем отвалов. Цель работы состоит в оценке углероддепонирующей способности техногенных экосистем с учетом доли таких компонентов экосистем как почвы, почвообразующие породы, растительный покров, а также подстилки.

Исследования показывают, что в структуре запасов преобладает подземная часть (рис. 1). На ее долю в углеродсодержащих почвах приходится от 87,1 до 99,9%, при общих запасах от 116,5 до 638,3 тС/га. В структуре запасов углерода подземной части техногенного ландшафта от 47,8 до 99,0% углерода составляют включения крупнообломочного (C_{yr}) и тонких фракций угля

($C_{\text{лит}}$), складываемого в отвалы вместе с отходами добычи [6]. Исключением являются участки поверхности, сложенные безуглистыми породами (ЭДр). Тем не менее, даже в них основная масса депонированного ландшафтами углерода (55,6%) приходится на их подземную часть ($C_{\text{несп}} + C_{\text{ккорн}}$). Здесь при запасах 62,7 тС/га более половины углерода сосредоточено в неспецифическом органическом веществе почв ($C_{\text{несп}}$), не фиксируемом традиционными методами бихроматного окисления.

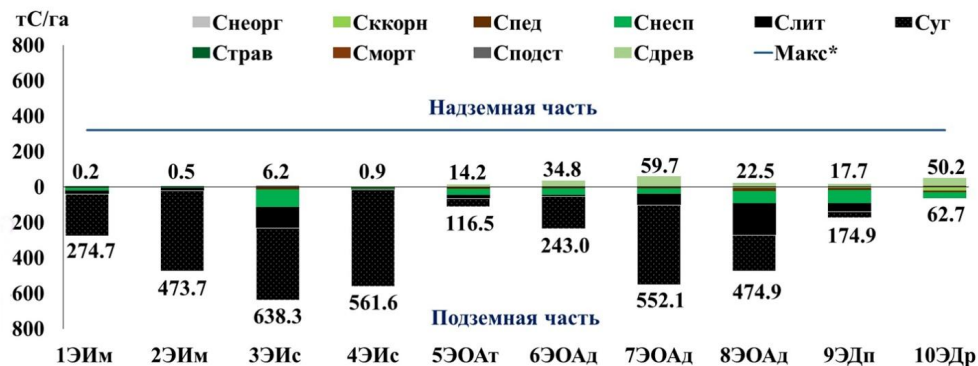


Рис. 1. Соотношение запасов углерода надземной и подземной частей техногенных ландшафтов: ЭИм – эмбриоземы инициальные на молодых отвалах; ЭИс – те же на старых отвалах; ЭОАт – эмбриоземы органо-аккумулятивные под травянистыми сообществами; ЭОАд – то же под древесными насаждениями; ЭДп – эмбриоземы дерновые на плотном каменистом субстрате; ЭДр – то же на рыхлом глинистом субстрате; *Макс – максимально возможные запасы надземной фитомассы для суббореальных экосистем (350 тС/га)

Запасы углерода надземной фитомассы включающие углерод древесины ($C_{\text{древ}}$), зеленой ($C_{\text{трав}}$) и мертвой ($C_{\text{морт}}$) фитомассы трав, а также подстилки ($C_{\text{подст}}$) варьируют в широком интервале от 0,2 до 59,7 тС/га. Минимальные запасы (0,2–6,2 тС/га) приходятся на участки молодые и с экстремальными эдафическими условиями, которые заняты инициальными эмбриоземами. Максимальные запасы (22,5–59,7 тС/га) фиксируются на участках склоновых и с расчленённым рельефом [4], где в составе растительных сообществ доминируют древесные виды, а в почвенном покрове – органо-аккумулятивные эмбриоземы (ЭОАд) [3].

Выровненные участки с преобладанием в составе растительного покрова травянистых видов (ЭИс и ЭОАт), занимают промежуточную позицию по запасам надземной фитомассы – от 6,2 до 14,2 тС/га. Примечательно, что на таких участках наиболее высока доля запасов углерода подземной части не угольной природы ($C_{\text{несп}}$, $C_{\text{ккорн}}$ и $C_{\text{спед}}$). Это говорит о том, что на спланированных участках, с одной стороны, наиболее активно идет секвестрация углерода атмосферы, а с другой, не происходит его отчуждения из профиля почв под действием склоновых процессов [6].

Полученные данные о запасах углерода органических веществ в надземной и подземной фитомассе, подстилке и почвах позволяют оценить соотношение долей углерода в перспективе его депонирования:

1) краткосрочного – в легко минерализуемой травянистой растительности и подстилке ($C_{\text{трав}} + C_{\text{морт}} + C_{\text{подст}}$). Разложение и минерализация органического вещества этой категории происходит за 2–3, максимум 5 лет;

2) среднесрочного – в более длительно минерализуемой части грубых корней, неспецифического органического вещества и педогенного (бихроматноокисляемого) углерода ($C_{\text{ккорн}} + C_{\text{несп}} + C_{\text{пед}}$). Высвобождение углерода этой части, как правило, происходит от 3–5 лет до немногим более 10 лет;

3) долгосрочного – углерода древесины и наиболее устойчивых к минерализации углерода включений угля ($C_{\text{уг}} + C_{\text{лит}} + C_{\text{древ}}$). Минерализация органического вещества из этой части может протекать десятки и сотни лет.

Распределение соотношения запасов по степени долгосрочности депонирования представлено на рис. 2. Как видим, основная масса углерода техногенных экосистем относится к категории долгосрочно депонированного. Углерод среднесрочной категории преобладает только на участках без включений угля в почвах (10ЭДр). Однако его доля велика также и на участках с углесодержащими почвами, сформированными на выровненных горизонтальных поверхностях (3ЭИс, 5ЭОАт, 9ЭДп).

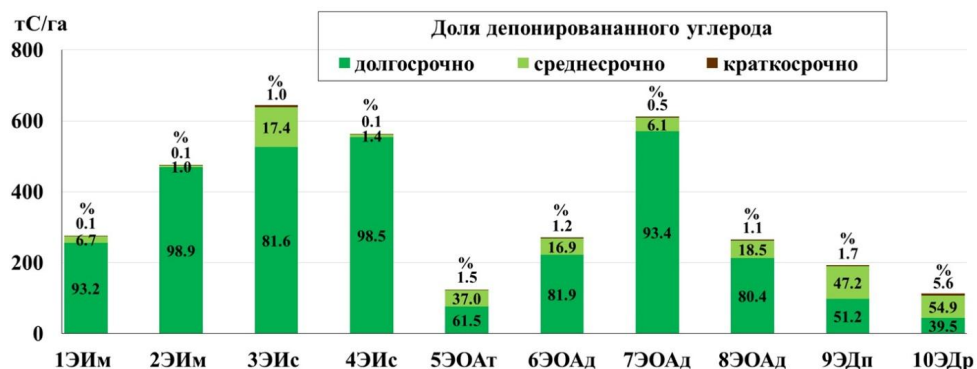


Рис. 2. Соотношение запасов углерода по степени устойчивости к минерализации

Доля краткосрочно депонированного углерода максимальна в почвах, сформированных на рыхлых безугольных осадочных породах (10ЭДр), где она составляет 5,6% (6,3 тС/га). В углесодержащих почвах она не превышает 2% (до 6,2 тС/га).

Таким образом, полученные результаты показывают, что почвы отвалов отходов угледобычи не только отличаются повышенными запасами углерода, но и обладают высоким потенциалом его депонирования. Основная часть запасов углерода в отвалах приходится на включения крупнообломочных и тонких фракций угля. Складирование на поверхность отвалов рыхлых безугольных пород позволяет ограничить процессы трансформации включе-

ний угля и повысить темпы секвестрации углерода техногенными экосистемами. Проведение рекультивации, учитывающей эти особенности, позволит не только минимизировать углеродный след от открытой добычи угля, но и сделает техногенные ландшафты перспективными объектами для организации карбоновых полигонов и ферм.

Литература

1. Соколова Н.А., Госсен И.Н., Соколов Д.А. Оценка пригодности вегетационных индексов для выявления почвенно-экологического состояния поверхности отвалов антрацитовых месторождений // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 1. С. 62–68.
2. Андроханов В.А., Соколова Н.А. Почвенно-экологическое состояние поверхности отвалов антрацитовых месторождений (на примере Горловского антрацитового месторождения, Новосибирская область) // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 31–36.
3. Скотарева А.Е., Иванов Н.А., Соколов Д.А. Оценка факторов, определяющих скорость и направленность развития растительных сообществ на отвалах отходов добычи угля (на примере Горловского антрацитового месторождения) // Почвы и окружающая среда. 2024. Т. 7, № 2. С. 259.
4. Уфимцев В.И., Соколов Д.А., Легошина О.М. Депонирование углерода в надземной фитомассе древостоев на отвалах Горловского антрацитового месторождения // Уголь. 2025. № 4. С. 108–113.
5. Беспалов А.Н., Соколова Н.А., Соколов Д.А. Особенности восстановления биогеоценозов при зарастании отвалов угольных разрезов Горловского бассейна // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 159–164.
6. Соколов Д.А., Гуркова Е.А. Содержание и структура запасов углерода в угле-содержащих почвах техногенных ландшафтов (на примере Горловского антрацитового месторождения) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2025. № 70. С. 25–51.

УДК 631.484

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-55

Изменение почвенно-экологического состояния в сукцессионных рядах биоценозов отвалов антрацита в лесостепи Новосибирской области

Н.А. Соколова

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
nasokolova30@yandex.ru*

Аннотация. В настоящее время на территории Новосибирской области активно ведется разработка антрацитов Горловского угольного бассейна, что увеличивает площади, занятые отвалами вскрышных пород. Целью исследования было проследить изменение почвенно-экологического состояния участков в сукцессионных рядах

техногенных ландшафтов. Выявлено, что с увеличением возраста участков происходит восстановление почвенных свойств, увеличение баллов почвенно-экологического состояния, а также увеличение биоразнообразия.

Ключевые слова: техногенные ландшафты, сукцессии, почвенно-экологическое состояние

Changes in the soil-ecological state in the successional series of biocenoses of anthracite dumps in the forest-steppe of the Novosibirsk region

N.A. Sokolova

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
nasokolova30@yandex.ru*

Summary. Currently, anthracite mining in the Gorlovka coal basin is actively underway in the Novosibirsk Region, which increases the area occupied by overburden dumps. The purpose of the study was to trace the change in the soil-ecological state of sites in the succession series of man-made landscapes. It was revealed that with an increase in the age of the sites, the restoration of soil properties, an increase in the points of the soil-ecological state, as well as an increase in biodiversity occur.

Keywords: technogenic landscapes, successions, soil-ecological state

В настоящее время на территории Новосибирской области активно ведется разработка антрацитов Горловского угольного бассейна [1], что влечет за собой увеличение площадей, занятых карьерно-отвальными комплексами. Ситуация осложняется тем, что высокометаморфизованные антрациты и вмещающие их породы сложнее разрушаются под механическим воздействием [2], что предполагает растянутость смены сукцессионных этапов во времени. Ранее было показано, что восстановление почв и других компонентов экосистемы происходит одновременно [3–5]. В то же время существующих данных недостаточно для получения полной картины восстановления пост-техногенных биоценозов. В связи с этим целью работы было проследить изменения почвенно-экологического состояния участков самозарастания в сукцессионных рядах.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования выбраны участки поверхности отвала Горловского антрацитового месторождения в Новосибирской области и прилегающие к отвалу территории. Участки на отвале характеризуются схожими геогенными условиями, но различаются по степени выраженности рельефа, а также по возрасту отсыпки (от 10 до 35 лет и более) и характеризуются разной степенью развития растительных сообществ. В условиях лесостепи молодое почвообразование идет в двух разных направлениях: по степному и лесному типу. Сукцессионный ряд ценозов под травянистой растительностью представлен 4 участками (10, 3, 4 и 12). На

участке № 10 пионерное сообщество (единичный подрост тополя черного, солянки и иван-чай). Фитоценоз на участке № 3 представлен простой луговой ассоциацией с единичным лесовозобновлением. На участке № 4 развит сложный луговой фитоценоз с единичным лесовосстановлением. Участок № 12 представлен фоновым разнотравным лугом в верхней части пологого склона. Эволюционный ряд почв, соответствующих участкам: инициальный эмбриозем – органо-аккумулятивный эмбриозем – дерновый эмбриозем – литозем серогумусовый (фоновая почва). Сукцессионный ряд ценозов под древесной растительностью представлен тремя участками (9, 2 и 13). На участке № 9 отмечен пионерный фитоценоз (единичные растения тополя черного и клена американского, мать-и-мачеха, одуванчик, полынь горькая). Участок № 2 занят несомкнутым смешанным лесом с разреженным травянистым ярусом. Участок № 13 заложен в березовом лесу, расположенном в ложбине на склоне к р. Выдриха. Эволюционный ряд почв, соответствующих участкам: инициальный эмбриозем – органо-аккумулятивный эмбриозем – серая лесная почва.

Сбор образцов производился в июне 2024 г. по стандартам (ГОСТ 17.4.4.02–2017). Анализ гранулометрического состава почв осуществлялся ситовым и пипеточным методом (ГОСТ 12536-2014). Определение pH почвенных проб производилось с помощью pH-метра ИТАН (ГОСТ 26423-85). Определение органического вещества осуществлялась по методу Тюрина (окисление раствором бихромата калия в серной кислоте и последующем определении трёхвалентного хрома титриметрически).

Балл почвенно-экологического состояния рассчитывается как средний индекс специфичности молодых почв (эмбриоземов) по отношению к фоновой почве, выраженный в процентах:

$$I_{\text{ср}} = \frac{i_{\text{спФГ}} + i_{\text{спСК}} + i_{\text{спС}} + i_{\text{сп pH}}}{4}.$$

При этом индекс специфичности по каждому показателю почвенных свойств рассчитывается как отношение значения показателя в молодой почве (эмбриоземе) к значению показателя в фоновой почве в случае содержания физической глины и углерода почв, или обратным отношением в случае каменистости и реакции среды, связанной с присутствием карбонатов кальция и магния в верхнем корнеобитаемом слое.

Результаты исследования. Результаты аналитических исследований свойств почв представлены в табл. 1. Можно отметить, что с увеличением возраста участков отсыпки содержание крупных камней снижается, а тонких частиц, напротив, увеличивается. Реакция среды также меняется с щелочной на более кислую, что связано с выщелачиванием карбонатов, а также накоплением органических остатков. В том же направлении идет увеличение педогенного углерода в почвах (табл. 1).

На основании полученных аналитических данных определены индексы специфичности характеристик почв исследуемых участков и баллы их почвенно-экологического состояния. Для ряда травянистых фитоценозов фоно-

вой почвой считался литозем серогумусовый участка № 12, для ряда древесных фитоценозов – серая почва участка № 13 (табл. 2).

Таблица 1

Основные физико-химические свойства почв исследованных участков

Участок	Тип почв	Глубина образца, см	Скелет, %	ФГ, %	C _{орг} , %	pH _{вод}
Ряд травянистых фитоценозов						
10	Эмбриозем инициальный	0–10	92,3	1,8	0,2	8,0
		10–20	94,8	1,5	0,1	8,3
3	Эмбриозем органо- аккумулятивный	0–10	75,2	7,5	0,5	7,3
		10–20	84,3	5,1	0,4	7,8
4	Эмбриозем дерновый	0–10	75,3	9,5	0,6	7,1
		10–20	81,7	8,4	0,3	7,6
12	Литозем серогумусовый	3–5	8,9	16,0	3,8	6,2
		5–18	11,8	12,4	3,6	5,7
		18–28	25,9	21,4	0,9	5,9
		30–40	78,5	9,3	0,3	6,9
Ряд древесных фитоценозов						
9	Эмбриозем инициальный	0–10	76,0	6,0	0,8	6,2
		10–20	78,8	6,1	0,5	6,0
2	Эмбриозем органо- аккумулятивный	0–10	70,2	6,4	10,3	6,6
		10–20	88,7	3,6	1,1	7,0
13	Серая лесная	13–23	0,8	49,7	3,6	5,6
		23–43	0,2	43,6	1,3	5,5
		43–64	1,0	43,2	0,4	5,9
		70–80	1,2	53,6	0,2	6,1
		85–95	2,7	54,8	0,2	6,4

Примечание. ФГ – содержание физической глины (частиц <0,01 мм); C_{орг} – содержание органического углерода почв; pH_{вод} – pH водной суспензии почв.

Таблица 2

Индексы специфичности исследуемых участков травянистых ценозов и баллы почвенно-экологического состояния

Участок	i _{спСК}	i _{сп ФГ}	i _{сп С}	i _{сп pH}	I _{сп}	ПЭС
Ряд травянистых фитоценозов						
10	0,13	0,06	0,06	0,76	0,25	25
3	0,18	0,46	0,08	0,89	0,40	40
4	0,22	0,84	0,22	0,83	0,53	53
12	1	1	1	1	1	100
Ряд древесных фитоценозов						
9	0,01	0,10	0,12	0,92	0,29	29
2	0,01	0,48	0,39	0,71	0,40	40
13	1	1	1	1	1	100

Из табл. 2 можно сделать вывод, что баллы почвенно-экологического состояния зависят от возраста участка. Чем старше участок и больше длительность протекания почвообразовательных процессов, тем более свойства почв

на исследованных техногенных участках постепенно приближаются к таковым естественных, стимулируя восстановление экосистемы и ее экологических функций.

Следует отметить, что наряду с увеличением баллов почвенно-экологического состояния, увеличивается биоразнообразие и проективное покрытие растительностью поверхности отвалов. Так, в ряду травянистых фитоценозов количество видов увеличивается от 2 до 19 (на фоновом участке 23 вида), в ряду древесных фитоценозов – от 6 до 12 (на фоновом участке 20 видов). Кроме того, происходит постепенная смена жизненных форм растений (соответственно их требованиям к почвенному питанию) от преимущественно rudеральных однолетних растений к преобладанию типично луговых и лесных многолетних видов.

Литература

1. Угольная база России. Том 2. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны, месторождения Алтайского края и Республики Алтай). М.: Геоинформцентр, 2003. 604 с.

2. Госсен И.Н. [и др.] Бонитировочный подход к оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Сибири (на примере отвалов антрацитовых, каменно- и буроугольных месторождений) // Вестник НГАУ. 2016. № 2 (39). С. 71–82.

3. Соколов Д.А., Кулижский С.П. Сингенетичность формирования растительного покрова и окислительно-восстановительных систем в почвах отвалов каменно-угольных разрезов // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 1 (21). С. 22–29.

4. Беспалов А.Н., Соколова Н.А., Соколов Д.А. Особенности восстановления биогеоценозов при зарастании отвалов угольных разрезов Горловского бассейна // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 159–164.

5. Sokolova N.A., Solovyev S.V., Sokolov D.A. Restoration of the biodiversity of technogenic landscapes of anthracite deposits in Siberia // BIO Web of Conferences. 2021. Vol. 31.

УДК 631.41

doi: 10.17223/978-5-907890-86-2-2025-56

Десорбция натрия из солончака глеевого (Западное Забайкалье)

С.Б. Сосорова*, М.Г. Меркушева, Л.Н. Болонева

Институт общей и экспериментальной биологии, Улан-Удэ, Россия

** soelma_sosorova@mail.ru*

Аннотация. Исследована десорбция ионов натрия из солончака глеевого соляной кислотой и аммонием углекислым в диапазоне исходных концентраций (0,01–1,0 моль/л) в соотношении почва-экстрагент 1 : 10 при 24-часовом взаимодействии.

Установлено, что из почвенного профиля HCl десорбирует ионов натрия больше, чем $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$: 14,0–132,4 и 28,0–95,5 ммоль /кг соответственно. Максимальные значения десорбированных ионов натрия выявлены в 0–2 см (S-горизонт) и 23–43 см (Bca,s-горизонт) слое почвы. Количество десорбированного натрия имеет высокую положительную корреляцию с уровнем содержания солей.

Ключевые слова: десорбция, натрий, солончак, Западное Забайкалье

Desorption of sodium from the Gley salt marsh (Western Transbaikalia)

S.B. Sosorova*, M.G. Merkusheva, L.N. Boloneva

*Institute of General and Experimental Biology,
Ulan-Ude, Russian Federation*

** soelma_sosorova@mail.ru*

Summary. Desorption of sodium ions from gley salt marsh with hydrochloric acid and ammonium carbonate in the range of initial concentrations (0.01–1.0 mol/l) in a soil-extractant ratio of 1 : 10 at a 24-hour interaction was studied. It was found that HCl desorbs more sodium ions from the soil profile than $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$: 14,0–132,4 and 28,0–95,5 mmol/kg, respectively. The maximum values of desorbed sodium ions were detected in the 0–2 cm (S-horizon) and 23–43 cm (Bca,s-horizon) soil layers. The amount of desorbed sodium has a high positive correlation with the salt content.

Keywords: desorption, sodium, solonchak, Western Transbaikalia

Натрий относится к биофильным элементам, без которых невозможно существование и поддержание жизни на Земле [1]. В настоящее время в научной литературе отсутствуют данные по десорбции ионов натрия из почв в условиях Западного Забайкалья, в том числе и для засоленных.

В Западном Забайкалье солончаки занимают надпойменные террасы и незаливаемые равнинные и прибрежные территории, прилегающие к содово-соленым озерам, а также пониженные участки пойм с близким уровнем минерализованных грунтовых вод. Общая их площадь в структуре почвенного покрова сельскохозяйственных угодий Республики Бурятия составляет 27,17 тыс. га (1,1%) [2].

Объекты и методы. Объект исследования – солончак глеевый, сформированный в природно-климатических условия Западного Забайкалья. Систематическое положение почвы определено в соответствии с классификацией [3] и рекомендациям М.И. Герасимовой с соавторами [4].

Разрез 11 заложен на северном берегу, на обсохшем дне, среди солевых кор оз. Каменный Ключ (Джидинский район), в 150 м от уреза воды. Координаты: 50°39.092' с.ш., 105°39.39998', h – 639 м. Солончаковоползунковое сообщество. Почва – солончак глеевый, хлоридно-сульфатно-содовый [5].

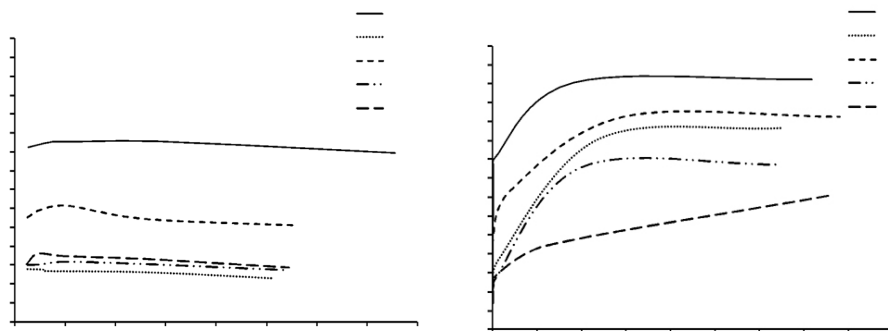
Исследованная почва характеризовалась щелочной и сильнощелочной реакцией среды, суглинистым гранулометрическим составом, вариабельностью емкости катионного обмена, содержания карбонатов, низким содержа-

нием гумуса, азота, подвижного фосфора и обменного калия, хлоридно-сульфатно-содовым типом засоления (табл. 1). Максимальная аккумуляция солей выявлена в верхних слоях профиля на испарительном педогеохимическом барьере.

В проведенных нами исследованиях оценивалось вытеснение ионов натрия из солончака глеевого в зависимости от экстрагента и его исходной концентрации: HCL – 0,01–1,0 моль/л и $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ – 0,02–1 моль/л. 4 г почвы заливалось 40 мл HCL или $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ заданной концентрации, время взаимодействия – 24 ч. В фильтрате определяли натрий на пламенном фотометре.

Результаты и обсуждение. Результаты вытеснения ионов натрия из исследуемой почвы приведены в табл. 2 и на рисунке. Как видно из представленных данных, при большей концентрации десорбента из почвы в раствор вытесняется больше натрия, что соответствует теоретическим представлениям. Из данных табл. 2 видно, что солянокислая вытяжка извлекает из почвы больше ионов натрия, чем аммонийноуглекислая. Обусловлено данное различие свойствами экстрагентов и реакциями, протекающими в почве при их взаимодействии.

Изотермы десорбции ионов натрия относились к ленгмюровскому типу и имели некоторые различия, что может свидетельствовать о разных механизмах взаимодействия экстрагентов с почвой (рисунок). При использовании HCL процесс десорбции ионов натрия из почвы на начальном этапе взаимодействия протекает менее интенсивно, чем при использовании $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Однако по мере разрушения соляной кислотой карбонатов и других соединений количество ионов натрия, высвобождаемое из почвенного поглощающего комплекса, возрастает. Так, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ вытесняет 28,00–95,52, а HCL – 14,01–132,39 ммоль Na /кг из почвенного профиля. Максимальное вытеснение ионов натрия выявлено в верхнем 0–2 см слое почвы, а также в горизонте Vca_s на глубине 23–43 см (рисунок).



Изотерма десорбции натрия из солончака глеевого

В целом количество десорбированного натрия имеет высокую положительную корреляцию с уровнем содержания солей ($r = 0,82$ (HCL-вытяжка) и $r = 0,97$ ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -вытяжка) при исходной концентрации экстрагентов

1 моль/л. При увеличении исходной концентрации $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ до 0,5 моль/л отмечено снижение количества вытесняемого натрия из почвы.

Таблица 1

Характеристика солончака глеевого (Западное Забайкалье) [5]

Горизонт	Глубина, см	Фракция (мм), %		pH водный	Обменные катионы, ммоль экв/100 г		Сумма солей	CO ₂ карб.	Гумус	N _{общ}	P ₂ O ₅	K ₂ O
		<0,01	<0,001		ЕКО	Na ⁺						
S[A _o]	0–2	27,7	4,8	8,9	38,0	10,4	1,58	2,8	3,2	0,18	1,5	65,3
S[A _i]	2–9	24,3	3,2	8,7	18,0	8,3	1,23	2,0	2,4	0,13	1,2	27,7
BC _{as}	9–23	20,5	3,9	8,7	33,0	2,2	0,31	3,8	0,5	0,04	1,2	12,1
B _{ca, s}	23–43	26,9	4,2	8,9	19,0	4,8	0,54	1,7	1,4	0,06	1,1	20,7
G _{s, ca}	43–60	27,7	3,9	8,6	–	–	0,24	5,5	0,8	0,08	0,7	17,4
CG _{s, ca}	60–80	35,3	4,2	8,7	–	–	0,23	4,6	1,0	0,06	0,5	17,4

Примечание. – нет данных.

Таблица 2

Десорбция ионов натрия из солончака глеевого, ммоль Na /кг

Горизонт	Глубина, см	Исходная концентрация, моль/л											
		HCl						$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$					
		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0
S	0–2	17,96	84,35	85,56	87,17	90,04	130,61	132,39	92,30	95,22	95,13	95,52	89,39
B _{ca, s}	9–23	21,78	22,56	23,00	23,61	36,43	100,96	106,83	28,00	27,65	26,96	26,26	22,91
B _{ca, s}	23–43	45,26	47,26	47,26	47,87	73,56	112,74	112,78	55,44	59,39	61,70	54,57	51,22
G _{s, ca}	43–60	22,26	23,35	23,17	23,87	25,83	85,96	87,30	30,30	30,43	31,91	30,61	27,52
CG _{s, ca}	60–80	14,07	24,61	24,70	25,35	27,48	44,35	70,78	30,74	36,17	34,83	33,26	28,87

Таким образом, количество ионов натрия, десорбируемого из почвы, зависит от свойств экстрагента и характера его взаимодействия с почвой.

Литература

1. Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н. Агрохимические основы системы удобрений овощных и плодовых культур. М.: Агропромиздат, 1988. С. 30–35.
2. Убугунов Л.Л., Ральдин Б.Б., Убугунова В.И. Почвенный покров Бурятии как базовый компонент природных ресурсов Байкальского региона. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2002. 53 с.
3. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
4. Герасимова М.И., Лебедева М.П., Хитров Н.Б. Индексация почвенных горизонтов: состояние вопроса, проблемы и предложения // Почвоведение. 2013. № 5. С. 627–638. doi: 10.7868/ S0032180X14050098
5. Убугунов Л.Л., Меркушева М.Г., Андреева И.М. Натрий в экосистемах Забайкалья и его агрохимическая эффективность. Новосибирск: СО РАН. 2022. 239 с.

Оценка содержания гумуса в верхних горизонтах почв на территории кампуса Дальневосточного федерального университета

Л.П. Ячмень*, А.М. Гилёв**

Дальневосточный федеральный университет,

Владивосток, Россия

** yachmen.lp@dvfu.ru*

*** gilev.am@dvfu.ru*

Аннотация. На территории кампуса ДВФУ на острове Русский были исследованы 7 почвенных образцов поверхностного горизонта, характеризующиеся как реплантоземы. Образцы проанализированы по содержанию и запасу гумуса и дана оценка по Орлову. Результаты варьируются от 1,956% (очень низкое) до 4,908% (среднее), запасы гумуса – от 50,856 до 117,792 т/га.

Ключевые слова: гумус, запасы гумуса, реплантоземы, остров Русский, озеленение, антропогенное воздействие

Estimation of humus content in the upper horizons of soils on the campus of Far Eastern Federal University

L.P. Yachmen*, A.M. Gilyov**

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

** yachmen.lp@dvfu.ru*

*** gilev.am@dvfu.ru*

Summary. Replantozems were studied on the territory of the FEFU campus on Russky Island. 7 samples of upper soil horizon were analyzed for humus content. The results vary from 1,956% (very low) to 4,908% (average), humus reserves – from 50,856 to 117,792 tonnes/ha. The low humus level is due to erosion and anthropogenic impact. The results emphasise the need to restore the fertile layer for campus landscaping.

Keywords: humus, humus reserves, replantozems, Russky Island, landscaping, anthropogenic impact

Территория кампуса Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) располагается на острове Русский, который является крупнейшим в акватории Южного Приморья. Остров омывается водами Японского моря, имеет преимущественно горный рельеф и характеризуется взаимодействием континентальных и океанических факторов [1]. Это взаимодействие способствует формированию почвообразовательных условий, которые определяют разнообразие почвенного покрова и экосистем острова.

Исследования восточного побережья острова Русский показывают, что основу почвенного покрова составляют бурые лесные и антропогенно-преобразованные почвы [2].

На территории острова преобладают бурые лесные почвы, они характеризуются значительным преобразованием минеральной массы с накоплением соединений железа и глинистых минералов в профиле, что влияет на водный режим [3]. Территория кампуса ДВФУ – это зона, подверженная антропогенной нагрузке, за счет чего в естественных почвах отмечается деградация в виде уплотнения и выноса питательных элементов. Для их защиты и восстановления необходимо реализовывать мероприятия по восстановлению плодородного слоя, что обеспечит успешное озеленение территории [2].

Озеленение – это комплекс мероприятий, направленных на благоустройство территорий с использованием растительных насаждений, способствующих улучшению экологической обстановки и эстетической привлекательности [1]. Для проведения мероприятий по озеленению необходимо проводить анализ свойств почв, в первую очередь определять содержание и запасы гумуса. Анализ содержания гумуса позволяет определить плодородие почв и их пригодность для озеленения [2]. Целью работы является оценка содержания гумуса в поверхностных горизонтах почв территории кампуса ДВФУ.

Объектом исследования стали почвы территории кампуса Дальневосточного федерального университета, расположенного в Приморском крае. Эти почвы классифицируются как реплантозёмы, что подтверждается научными трудами И.А. Крупеникова и Б.П. Подымова [4]. Реплантозёмы представляют собой почвы, подвергшиеся антропогенным преобразованиям в результате восстановительных мероприятий на нарушенных землях, что характерно для данной территории кампуса [2]. С целью визуализации расположения точек, откуда проводился отбор проб, была составлена карта-схема (рисунок).



Карта-схема отбора проб почв

В рамках исследования было отобрано 7 образцов почвы из верхнего горизонта на глубину до 20 см. Точки для отбора были распределены по кампусу с акцентом на участки с потенциально различными свойствами почв.

Морфологическое описание исследуемых почв следующее: однородно окрашен 3/2 10YR очень темный коричневато-серый, среднесуглинистый, слабооструктуренный, комковато-ореховато-зернистый, рыхлый, редко встречаются обломки горных пород диаметром около 10 см, корни и остатки корней кустарников и деревьев (около 2 см), свежий, граница и переход не выявлялись.

Образцы отбирались согласно ГОСТу 28168-89 [5]. Плотность сложения (объемная масса) измерялась методом режущего кольца с последующим высушиванием образца до постоянной массы [6]. Содержание органического углерода определялось по методу Тюрина (мокрое сжигание) в соответствии с ГОСТ 26213-2021 [7]. Для определения содержания гумуса проводили перерасчет, используя коэффициент 1,724, учитывающий среднее содержание углерода в гумусе [7]. Оценка содержания гумуса в почвах дана по классификации Орлова, Гришиной [8].

Содержание гумуса в почве является ключевым показателем ее плодородия, структуры и способности поддерживать биологические и агрохимические процессы [2]. По классификации Орлова и Гришиной, большинство образцов (1, 2, 3, 5, 7) имеют низкое содержание гумуса (2,444–3,322%), образец № 4 – среднее (4,908%), а образец № 6 – очень низкое (1,956%) (таблица) [8].

Запасы гумуса рассчитывают, как содержание гумуса (в процентах), умноженное на плотность почвы с учетом глубины исследуемого горизонта, что позволяет вычислить запасы гумуса на единицу площади (обычно в тоннах на гектар) [7]. Запасы гумуса варьируются от 50,856 т/га до 117,792 т/га. Наибольшие запасы гумуса 117,792 т/га в образце № 4, а минимальные значения 50,856 т/га зафиксированы в образце № 6 (таблица).

Оценка содержания гумуса в антропогенно-нарушенных почвах (реплантоземах) кампуса ДВФУ, о. Русский, Приморский край

Объект исследования	Содержание органического углерода почв, %	Содержание гумуса, %	Оценка содержания гумуса по Орлову, Гришиной [8]	Полевая плотность, г/см ³	Запасы гумуса в почве, т/га
Образец 1	1,495	2,578	Низкое	1,1	56,716
Образец 2	1,775	3,060	Низкое	1,2	73,44
Образец 3	1,927	3,322	Низкое	1,3	86,372
Образец 4	2,847	4,908	Среднее	1,2	117,792
Образец 5	1,418	2,444	Низкое	1,4	68,432
Образец 6	1,135	1,956	Очень низкое	1,3	50,856
Образец 7	1,443	2,487	Низкое	1,3	64,662

Результаты исследования показали низкое содержание гумуса. Это может быть результатом эрозии, недостаточного поступления органического материала или интенсивного землепользования. Образец № 4, выделяющийся более высоким содержанием гумуса, возможно, расположен в зоне с активным накоплением органики. Полученные значения содержания гумуса (1,956–4,908%) ниже средних для бурых лесных почв Приморья (4–6%) [1], что подтверждает антропогенную деградацию почв кампуса, вызванную строительными работами, переуплотнением и эрозией. Образец №4 выделяется более высоким содержанием гумуса, вероятно, благодаря расположению под дубовым лесом с развитым травяным покровом. Низкое содержание гумуса в образце №6 связано с интенсивным антропогенным воздействием, включая удаление растительного слоя во время строительства. Сравнение с исследованиями Ковалёва [1] показывает, что почвы восточного побережья острова Русский имеют схожие тенденции деградации.

Для повышения плодородия рекомендуется внесение компоста (10–15 т/га) на участках с низким содержанием гумуса (образцы 1, 5, 6, 7). Подходящими растениями для озеленения являются устойчивые виды, такие как сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и можжевельник казацкий (*Juniperus sabina*), которые хорошо адаптированы к слабокислым почвам с низким содержанием гумуса. Использование сидератов (например, люпина) может способствовать накоплению органического вещества.

Литература

1. Ковалёв А.В. Почвенный покров восточного побережья острова Русский: структура и антропогенное влияние // Вестник ДВФУ. 2019. № 3. С. 45–53.
2. Агрохимия почв юга Дальнего Востока: учеб. пособие / А.М. Ивлёв [и др.]. М.: Круглый год, 2001. 104 с.
3. Соколов И.А. Антропогенные почвы: генезис и классификация. М.: Наука, 2004. 198 с.
4. Крупеникова И.А., Подымов Б.П. Реплантозёмы Приморья: свойства и использование // Почвоведение. 2018. № 5. С. 567–575.
5. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.
6. Методическое руководство по определению плотности сложения почв методом режущего кольца / под ред. В.В. Медведева. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2003. 25 с.
7. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
8. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 42–47.

ИЗ ФОТОАРХИВОВ КАФЕДРЫ И ЕЕ СОТРУДНИКОВ FROM THE PHOTO ARCHIVES OF THE DEPARTMENT AND ITS STAFF

Заведующие кафедрой

(фотоархив кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ)



Смирнов Иван Иванович
1930–1932



Кузнецов Константин Андреевич
1932–1952



Коляго Степан Александрович
1952–1954; 1956–1962



Прикладов Николай Васильевич
1963–1967



Славина Тамара Порфирьевна
1954–1956; 1967–1973; 1983–1988



Танзыбаев Михаил Гаврилович
1973–1983; 1988–1998

**Заведующие кафедрой и исполняющие обязанности (и.о.)
заведующего кафедрой**



Огородников Анатолий Вячеславович
1998–2001
(ред. ИИ)



и.о. Герасько Людмила Ивановна
2001–2002



Кулижский Сергей Павлинович
2002– ...
(фото с сайта Персона ТГУ)



и.о. Мерзляков Олег Эдуардович
2018– ...
(фото с сайта Персона ТГУ)

Сотрудники кафедры в разные годы (фотоархив кафедры)



1959 г.

Слева направо: Коляго С.А., Славнина Т.П., Бурлакова Л.М., Шмони́на Е.Н.,
Сметани́н И.С., Кузнецова З.Д., Кайдалова З.Г., Кахаткина М.И., Успенская В.С.



1967 г.

1 ряд, слева направо: Кайдалова З.Г., Танзыбаев М.Г., Славнина Т.П., Прикладов Н.В.,
Непряхин Е.М.; 2 ряд, слева направо: Островзорова Л.И., Иванова Р.Б., Герасько Л.И.,
Гавриленко Л.И., Песцова Г.А., Успенская В.С.; 3 ряд, слева направо: Кирюхина Л.Н.,
Хохлова Т.И., Кахаткина М.И.



1979 г.

1 ряд, слева направо: Кахаткина М.И., Славнина Т.П., Танзыбаев М.Г., Герасько Л.И.

2 ряд, слева направо: Перфильева В.Д., Кашкова Т.А., Арцимович, Спирина В.З.

3 ряд, слева направо: лаборант каф., Середина В.П., лаборант каф.

(фото предоставлено В.П. Серединой)



Приблизительно 1982–83 гг.

Слева направо: Середина В.П. (вторая),

Герасько Л.И. с дочерью, нет свед.,

Славнина Т.П., Кахаткина М.И.,

Изерская Л.А.

(из фотоархива Л.И. Герасько,

фото предоставлено С.В. Лойко)



2005 г.

Окрестности Томска. Полевая экскурсия юбилейной конференции кафедры.

Первый ряд: Герасько Л.И., Спирина В.З., Середина В.П.,

Второй ряд: Шипилин Н.Н. (выпускник каф.), Соловьева Т.П., Каллас Е.В.,

Росновский И.Н. Третий ряд: Мерзляков О.Э. и Кулижский С.П.

(фото предоставлено В.З. Спириной)



2014 г.

Слева направо: Кулижский С.П., Мерзляков О.Э., Спирина В.З., Герасько Л.И.

Сидят за партой: Каллас Е.В., Соловьева Т.П.

Во втором ряду: Росновская Т.Н. и Новокрещенных Т.А.

(фото Г. Листвина)



2020 г.

Первый ряд, слева направо: Спирина В.З., Герасько Л.И., Каллас Е.В.,
Раудина Т.В., Мерзляков О.Э.

Второй ряд, слева направо: Кулижский С.П., Родикова А.В., Юферова П.С.,
Аникеева С.А., Никифоров А.Н., Середина В.П., Лойко С.В.



2025 г.

Первый ряд, слева направо:
Аникеева С.А., Спирина В.З.,
Новикова А.С., Белкина Т.Н.

Второй ряд, слева направо:
Кулижский С.П., Валевич Т.О.,
Раудина Т.В., Гербер А.А.,
Ручкина К.В., Родикова А.В.,
Каллас Е.В., Середина В.П., Лойко С.В.

Третий ряд, слева направо:
Мерзляков О.Э., Никифоров А.Н.

Фотоальбом почвенного кружка кафедры 1952–1953 гг.



В поле !!!



Окрестности г. Тамбова



Студенты V и VI курсов



Окрестности Тамбова



СТУДЕНТЫ 62^{ой} ГРУППЫ С ПРЕПОДАВАТЕЛЯМИ

Фотоальбом почвенного кружка кафедры 1956–1961 гг.



Ст-ты 1933 г. на практике
по физике почв в д-не Степс-
новки Томской обл.

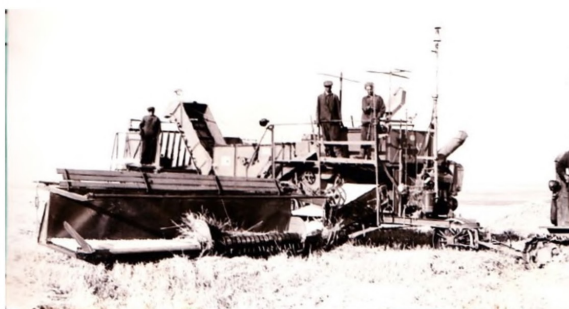
1956 г.



Перед маршрутом. Почвенный
отряд Красноярской Нодплен-
ской экспедиции СОЖСа АН СССР
фото. В.Н. Горбачева 1957 г.



Словы в копхо.
Томская обл.



Алтайские покорители
целинных земель.

фото. Саввинова 1957 г.



СТУДЕНТЫ НА ПРАКТИКЕ ПО ФИЗИКЕ ПОЧВ, 1961 Г

Из фотоархива Л.И. Герасько. Материалы предоставлены С.В. Лойко



1960-е гг.
Студентка кафедры
Н.Н. Пологова охотится;
экспедиция на севере
Томской области



1960-е гг.
Сотрудники кафедры почвоведения и НИИ ББ ТГУ
на пароме в Томской области. Слева Ю.А. Львов,
на втором плане по центру Л.И. Герасько, правее нее
Н.Н. Пологова. Боком стоит А.Г. Дюкарев



1970-е гг.
Александровский район
Томской области
Герасько Людмила Ивановна
(крайняя справа) со студента-
ми и охотники на медведя



Смоленцева Елена Николаевна
защищает диплом



1980-е гг.
Экспедиция в Прикетье Росновский И.И. (крайний
слева), Герасько Л.И. (крайняя справа),
Пологова Н.Н. (по центру снизу)

Из фотоархива В.П. Серединой



~1970–71 гг. Алтай.
Учебная практика.
Местная жительница
и студенты



1985 г.
Ташкент. VII Всесоюзный съезд почвоведов.
Славнина Т.П. (слева, боком) и Середина В.П.
Обед в кафе



1970 г. Первомайская демонстрация.
Справа налево: Татаринцев Л.М.,
Герасько Л.И., Середина В.П.,
Горб Г.П.



~1985–86 гг. Субботник. Середина В.П.
(пятая слева), и М.Г. Танзыбаев (боком),
Перфильева В.Д.? (третья справа),
студенты



~1981–82 гг. Празднование успешной за-
щиты кандидатской диссертации Середи-
ной В.П. у нее дома, танцы. Слева напра-
во: Танзыбаев М.Г., Пологова Н.Н., Ге-
расько Л.И., Середина В.П.



2015 г.
Сицилия, вулкан Этна.
Середина В.П. демонстрирует образец
почв, который она привезет в Томск

Из фотоархива В.З. Спириной



1993 г. Учебная практика
по почвоведению у биологов.
Спирина В.З. (слева) и студенты



Год? В верхнем ряду справа налево:
Прикладов Н.Ф., Коляго С.А.
В нижнем ряду слева: Тюменцев Н.Ф.



~1982–83 г. Лекция по физике почв.
За первой партой – сотр. НИИ ББ
Воробьев С.Н.



1999 г. Кафе "Минутка" ТГУ.
Слева направо: Середина В.П.,
Спирина В.З., Танзыбаев М.Г.



~1989 г. На Алтай. Учебная практика.
В автобусе на первом плане слева:
руководитель, Спирина В.З.,
справа: студентка Крылова (Каллас) Е.В.



Нач. 2000-х гг. На кафедре. Первый ряд,
слева направо: Спирина В.З. (в центре),
Герасько Л.И. Второй ряд:
Середина В.П. и Мерзляков О.Э.

Из фотоархива А.В. Родиковой



1996 г.

Хакасия. Комплексная экспедиция почвоведов и ботаников. Лагерь на оз. Утичьих. Сотрудники кафедры: Каллас Е.В. (слева третья), за ней Соловьёва Т.П. с детьми. За кострищем: Кулижский С.П., справа от него Дергачёва М.И и Танзыбаев М.Г. Студенты 123 и 133 гр. На заднем плане, около палатки, ботаники



2020 г.

Лабораторные занятия у студентов
III курса в период Covid-19



1995 г.

Экспедиция в Хакасию, р. Белый Июс.
Сотрудники кафедры: Каллас Е.В.
и Кулижский С.П. (крайние слева и справа),
студенты



2022 г.

Середина В.П. (фото слева), Спирина В.З. и Марон Т.А. (фото справа)
на курсах повышения квалификации «Навыки оказания первой помощи»



Доцент Лойко С.В. выступает с докладом на научном семинаре.
Кафедра почвоведения и экологии почв ТГУ. Томск, 23.12.2023



Из фотоархива С.В. Лойко

Экспедиции на север Западной Сибири, 2020-е гг.
Крицков И.В., Лим А.Г., Истигечев Г.И.,
Кузьмина Д.М., Лойко С.В.



Студенчество



Сотрудники кафедры 2025 г.



Кулижский
Сергей Павлинович
зав. каф. (по совм.)



Середина
Валентина Петровна
профессор



Спирина
Валентина Захаровна
доцент



Мерзляков
Олег Эдуардович
доцент



Раудина
Татьяна Валерьевна
доцент



Марон
Татьяна Алексеевна
старший преподаватель



Ручкина
Кристина Владимировна аспирант;
ассистент; лаборант
(по совм.)



Каллас
Елена Витальевна
доцент



Родикова
Анна Викторовна
доцент



Крицков
Иван Викторович
ассистент (по совм.)



Гербер
Анна Алексеевна
ассистент (по совм.)



Лойко
Сергей Васильевич
доцент (по совм.)



**Сорокин
Игорь Борисович**
профессор (по совм.)



**Татаринцев
Владимир Леонидович**
профессор



**Дергачёва
Мария Ивановна**
профессор (по совм.)



**Никифоров
Артём Николаевич**
старший преподаватель
(по совм.)



**Аникеева
Светлана Алексан-
дровна** старший
лаборант



**Белкина
Татьяна Николаевна**
учебный мастер



**Валевич
Татьяна Олеговна**
старший лаборант
(по совм.)

КАФЕДРА (гл. корпус), июнь 2025 г. (фото А.В. Родиковой)



Входная дверь



Рабочие места лаборантов



Панорамное фото рабочих мест ППС, вид со стороны входа



Панорамное фото рабочих мест ППС, вид от торцевой стены

Лаборатории кафедры: взгляд в прошлое



1967 г.
(фотоархив
кафедры)

Аудитория 051 (главный корпус)



До ремонта, 2021 г.
(фото Т.Н. Белкиной)



Ремонт, 2021 г.
(фото Т.Н. Белкиной)

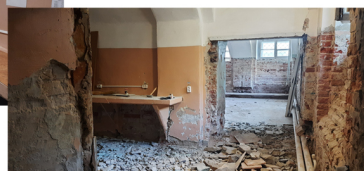


1985 г.
(фотоархив
кафедры)

Весовая



До ремонта, 2021 г.
(фото Т.Н. Белкиной)



Ремонт, 2021 г.
(фото Т.Н. Белкиной)



1967 г.
(фотоархив кафедры)

Аудитория 052 (главный корпус)



До ремонта, 2021 г.
(фото Т.Н. Белкиной)



Ремонт, 2021 г.
(фото Т.Н. Белкиной)

Лаборатория кафедры почвоведения
(гл. корп., аудитория 051), июнь, 2025 г.
(фото А.В. Родиковой)



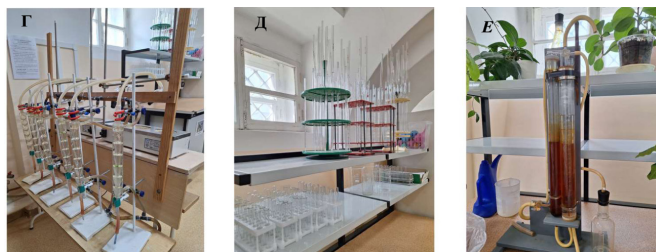
Панорамное фото ауд. 051 (1), вид с места преподавателя



Приборы и оборудование: шкаф для сжигания гумуса и шкаф с посудой (А), набор бюреток (Б), муфельная печь, вытяжной шкаф и раковина (В)



Панорамное фото ауд. 051 (1), вид со стороны входа в аудиторию



Приборы и оборудование: установка для отгонки азота (Г), стеллаж с химической посудой (Д) и кальциметр (Е)

Весовая
(гл. корпус, полуподвал. Проходное помещение между ауд. 051 и 052)
июнь, 2025 г. (фото А.В. Родиковой)



Весовая, вид со стороны двери



Снопы сельхоз. культур
для занятий по дисциплине
«Растениеводство»



Чашечные весы
и бинокляр



Чашечные и цифровые
аналитические весы



Панорамная фотография весовой, вид от окна
(слева – вход в ауд. 052, справа – вход в ауд. 051)

Лаборатория кафедры почвоведения
(гл. корп., аудитория 052), июнь, 2025 г.
(фото А.В. Родиковой)



Панорамная фотография ауд. 052, вид со стороны вытяжного шкафа



Приборы и оборудование: пипетка Качинского (А), раковины, сушки и дистиллятор (Б)



Приборы и оборудование: центрифуга и ротаторы (В), сушка для посуды и дистиллятор (Г), стеллаж с посудой (Д)



Панорамная фотография ауд. 052, вид с места преподавателя

Учебная лаборатория, кабинет морфологии почв
(гл. корпус, аудитория 034) июнь, 2025 г.
(фото А.В. Родиковой)



СОДЕРЖАНИЕ

Кулижский С.П., Родикова А.В. Преподаватели-фронтвики ВОВ кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ	5
---	---

Секция 1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ГЕНЕЗИСА И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ

Дергачева М.И. Гумусоведение: теоретические, методические и прикладные аспекты	15
Каллас Е.В. Гумусовый профиль сухоторфяно-подбура (хребет Кет-Кап)	19
Каллас Е.В., Пучкова К.С. Гумусовый профиль чернозема глинисто-иллювиального подтайги Притомья	23
Киселева Н.Д. Морфоаналитические особенности гипсоносных аллювиальных почв Южного Приангарья	27
Кондратьева М.А., Самофалова И.А. Диагностика почв подгольцового пояса Среднего Урала	31
Лесовая С.Н., Соколов А.А., Курочкин Ю.Н. Высотно-климатические тренды и пространственные закономерности почвообразования на юге Лено-Ангарского плато	36
Лопатовская О.Г. Таготский гидролакколит в Приольхонье	39
Людвиг У.И., Козлова А.А. Особенности процесса почвообразования в почвах Южного Предбайкалья	42
Марон Т.А., Саиспаева А.С., Родикова А.В., Кулижский С.П. Почвы Ширинской степи: окрестности оз. Слабительное	46
Пастухов А.В., Каверин Д.А., Лойко С.В., Крицков И.В., Лим А.Г., Кулижский С.П. Насыщенные углеводороды в многолетнемерзлых торфяниках ..	50
Сиромля Т.И., Загурская Ю.В. Макроэлементы корнеобитаемого слоя почв Кедровского угольного разреза	54
Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. Особенности почвенного покрова гумидных высокогорий Кузнецкого Алатау	58
Фомина А.Г., Самофалова И.А. Групповой состав гумуса почв в разных высотных условиях	62
Фром Н.А., Чумбаев А.С. Эмиссия CO ₂ из почв: аналитический обзор	67
Хоцкова Л.В., Омаров Р.С. Динамика почвенного покрова юго-восточной части города Томска на основе исторических данных	70
Чевычелов А.П. Современные подходы к изучению генезиса и классификации мерзлотных почв Южной Якутии	75

Секция 2. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВЯЗИ ПОЧВ С ГЕОСФЕРАМИ

Брикманс А.В., Бовсун М.А. Гранулометрический состав и содержание органического углерода в донных отложениях бухт Баклан и Бойсмана залива Петра Великого	79
Гашкова Л.П. Изменение элементного состава верхнего слоя торфа и подстилающей породы в процессе восстановления постпирогенных участков болот	83
Гынинова А.Б., Бадмаев Н.Б., Куликов А.И., Гынинова Б.Д., Мангатаев А.Ц., Рампилов М.О. Почвообразование на элювии плотных пород различного состава в Забайкалье	86
Крицков И.В., Покровский О.С., Воробьев С.Н. Сезонная динамика состава речных вод среднего течения реки Обь и ее малых притоков	91
Лаврентьева И.Н., Болонева Л.Н., Меркушева М.Г., Бадмаева Н.К. Влияние почвенных условий на биологическую продуктивность леймусовых сообществ (<i>Leymus Chinensis</i> (Trin.) Tzvel.) Забайкалья	95
Митракова Н.В. Разнообразие техногенных почв на участках изливов кислых шахтных вод в угледобывающем районе Предуралья	99
Никиткина Э.Г., Лушаева И.В., Колесниченко Л.Г. Сезонная динамика и функциональная активность микробных сообществ аллювиальных почв поймы средней Оби	103
Сайранова П.Ш., Еремченко О.З. Распространение редких литогенных почв на территории г. Перми	106
Синюткина А.А. Трансформация температурного режима торфяной залежи на постпирогенных болотах (Западная Сибирь)	109
Смоленцева Е.Н., Сапрыкин О.И. Голоценовые почвенные архивы в озёрных котловинах лесостепи Западной Сибири (на примере озера Ярковский плёс)	114
Султанова Н.С., Митракова Н.В. Физико-химические и экологические свойства техногенных поверхностных образований рекультивированных отвалов	118
Черноусенко Г.И. Инверсия химизма засоления почв юга Восточной Сибири ..	122

Секция 3. ПОЧВЫ И ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОЛОЦЕНА И ПЛЕЙСТОЦЕНА. РОЛЬ ЧЕЛОВЕКА В ФОРМИРОВАНИИ СОВРЕМЕННОГО ОБЛИКА ПЕДОСФЕРЫ

Бурукина Е.А., Хасанова А.Х. Пастбищная дигрессия как фактор ухудшения функции педосферы	126
Куклина С.Л., Воробьева Г.А., Будаков А.А. Следы криогенных процессов в почвах Южного Приангарья	130
Рогизная Ю.А., Самофалова И.А. Морфогенетическая диагностика почв (Чувальский камень, Северный Урал)	134

Секция 4. ПОЧВЕННЫЕ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ: ПРОБЛЕМЫ УЧЁТА, ОЦЕНКИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ

Валевич Т.О., Мерзляков О.Э. Горные лесные черноземовидные почвы парково-лиственничных лесов Кузнецкого Алатау	139
Власенко О.А. Роль многолетних трав в формировании запасов углерода и азота растительных остатков в агропочвах Красноярской лесостепи	142
Гилёва Д.А., Логинова Е.В., Порохина Е.В. Энзимологическая активность в торфяных почвах осушенного эвтрофного болота	146
Демьяненко Т.Н. Опыт исследования структуры почвенного покрова Красноярской лесостепи	150
Ергина Е.И., Новицкий М.Л., Артёмова Е.А. Почвенно-климатическая характеристика постирригационных ландшафтов Тарханкутского полуострова	154
Захарова М.К., Моргач Ю.Р. Почвенный покров территорий линий электропередач (на примере Ленинградской области).....	158
Захарова О.Г., Чевычелов А.П. Трансформация свойств и фосфатного состояния мерзлотных черноземов Центральной Якутии под влиянием агрогенного воздействия	161
Исмуканова Г.Ж. Деградационные процессы в Северном Казахстане как одно из следствий нерегламентированного освоения целинных и залежных земель	165
Кожамберлиева Р.Т., Раудина Т.В., Никонова Л.Г. Влияние осушения и пирогенного воздействия на физико-химические свойства торфяных олиготрофных почв южной тайги Западной Сибири	170
Крупин А.М., Никифоров А.Н. Динамичность почвенного органического вещества в коренных темнохвойных лесах юга таёжной зоны Западной Сибири на разных стадиях сукцессии	174
Кузьмина Д.М., Лойко С.В., Ткачёва А.А., Кулижский С.П. Трансформация темно-серых лесных почв в ходе длительного агрогенеза на юге Томской области	178
Кузьмина Н.П., Чевычелов А.П., Ермолаева С.В. Численность и состав микробоценозов мерзлотных лесных и лугово-степных почв Центральной Якутии	180
Куйдина С.А., Соколов Д.А., Морозов С.В. Сравнительное исследование состава полициклических ароматических углеводородов в почвах техногенных ландшафтов Горловского и Кузнецкого угольных бассейнов.....	182
Лобанова Е.С. Противозерозионная стойкость дерново-подзолистых почв Пермского края	188
Мерзляков Н.С., Самофалова И.А. Экологическая характеристика полигона ТКО г. Перми	191
Меркушева М.Г., Болонева Л.Н. Гумусное и микробиологическое состояние как индикатор оценки и степени деградации каштановых почв Западного Забайкалья	195

Надежкин К.С., Яковлева Л.В., Столярова Е.М. Оценка активности каталазы в аллювиальной почве при загрязнении нефтью	200
Никифоров А.Н., Никонова Л.Г., Зеленцова А.Е. Влияние инвазионных короедов на свойства подстилки и почвы кедровых лесов Томской области	203
Ручкина К.В., Мерзляков О.Э., Бабенко А.С. Влияние микропластика на темпы роста и развития семян рукколы	207
Семенюк А.В., Ручкина К.В., Мерзляков О.Э. Миграционная способность нефтепродуктов в грунтах на территории АО «Красноярскнефтепродукт» ..	212
Середина В.П., Овсянникова С.В. Эколого-геохимические особенности поведения тяжелых металлов в почвах Кузнецкой лесостепи.....	216
Соколов Д.А. Депонирование углерода техногенными ландшафтами угольных месторождений	219
Соколова Н.А. Изменение почвенно-экологического состояния в сукцессионных рядах биоценозов отвалов антрацита в лесостепи Новосибирской области	223
Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Болонева Л.Н. Десорбция натрия из солончака глеевого (Западное Забайкалье).....	227
Ячмень Л.П., Гилев А.М. Оценка содержания гумуса в верхних горизонтах почв на территории кампуса Дальневосточного федерального университета.....	231
ИЗ ФОТОАРХИВОВ КАФЕДРЫ И ЕЕ СОТРУДНИКОВ	235

CONTENT

Kulizhskiy S.P., Rodikova A.V. Teachers-veterans of the Great Patriotic War of the Department of Soil Science and Soil Ecology of TSU	5
--	---

Section 1. MODERN METHODS AND APPROACHES TO THE STUDY OF GENESIS AND CLASSIFICATION OF SOILS

Dergacheva M.I. Humus science: theoretical, methodological and applied aspects	15
Kallas E.V. Humus profile of drypeat-podbur (Ket-Kap ridge).....	19
Kallas E.V., Puchkova K.S. Humus profile of chernozem of clay-illuvial subtaiga of Pritomye	23
Kiseleva N.D. Morpho analytical features of gypsum-bearing alluvial soils of the Southern Angara Region.....	27
Kondrateva M.A., Samofalova I.A. Diagnostics of soils of the subalpine zone of the Middle Urals	31
Lessovaya S.N., Sokolov A.A., Kurochkin Y.N. Spatial patterns of soil formation affected by altitudinal climatic trends in the south of the Lena-Angarsky plateau	36
Lopatovskaya O.G. Tagot hydrolaccolite in Priolkhonye.....	39
Ludwig W.I., Kozlova A.A. Peculiarities of the process of soil formation in the soils of the Southern Cis-Baikal region.....	42
Maron T.A., Saispaeva A.S., Rodikova A.V., Kulizhskiy S.P. Soils of the Shira steppe: the surroundings of Lake Slabitelnoe	46
Pastukhov A.V., Kaverin D.A., Loiko S.V., Kritskov I.V., Lim A.G., Kulizhskiy S.P. Saturated hydrocarbons in permafrost peatlands	50
Siromlya T.I., Zagurskaya Y.V. Macroelements of the root-inhabited soil layer of the Kedrovsky coal mine	54
Smolentsev B.A., Smolentseva E.N. Features of the soil cover in the humid highlands of the Kuznetsky Alatau	58
Fomina A.G., Samofalova I.A. Group composition of soil humus in different altitude conditions.....	62
From N.A., Chumbaev A.S. CO ₂ emission from soils: an analytical review	67
Khotskova L.V., Omarov R.S. Dynamics of the soil cover in the south-east suburbs of Tomsk based on historical data	70
Chevychelov A.P. Modern approaches to the study of the genesis and classification of permafrost soils of South Yakutia	75

Section 2. SPATIAL AND FUNCTIONAL RELATIONSHIPS OF SOILS WITH GEOSPHERES

Brikmans A.V., Bovsun M.A. Granulometric composition and organic carbon content in the aquatic soils of Cormorant Bay and Boisman Bay of Peter the Great Bay	79
Gashkova L.P. Changes in the elemental composition of the upper peat layer and underlying rock during the restoration of post-pyrogenic areas of bogs	83
Gyninova A.B., Badmaev N.B., Kulikov A.I., Gyninova B.D., Mangataev A.Ts., Rampilov M.O. Soil formation on the eluvium of dense rocks of different composition in Transbaikalie	86
Kritskov I.V., Pokrovsky O.S., Vorobyov S.N. Seasonal dynamics of the composition of river waters of the middle reach of the Ob river and its small tributaries...	91
Lavrentieva I.N., Boloneva L.N., Merkusheva M.G., Badmaeva N.K. The influence of soil conditions on the biological productivity of leymus communities (<i>Leymus Chinensis</i> (Trin.) Tzvel.) in Transbaikalia	95
Mitrakova N.V. Diversity of technogenic soils in areas of acid mine water outflows in the coal mining region of the Cis-Urals	99
Nikitkina E.G., Luschaeva I.V., Kolesnichenko L.G. Seasonal dynamics and functional activity of microbial communities of alluvial soils of the middle Ob floodplain	103
Sairanova P. Sh., Eremchenko O.Z. Distribution of rare lithogenic soils within the city of Perm.....	106
Sinyutkina A.A. Transformation of the temperature regime of peat deposits in post-pyrogenic mires (Western Siberia).....	109
Smolentseva E.N., Saprykin O.I. Holocene soil archives in lake basins of the forest-steppe of Western Siberia (using the example of Lake Yarkovsky Ples)	114
Sultanova N.S., Mitrakova N.V. Physico-chemical and ecological properties properties of technogenic surface formations of recultivated dumps.....	118
Chernousenko G.I. Inversion of the chemistry of soil salinization in the south of Eastern Siberia.....	122

Section 3. SOILS AND PALEOECOLOGICAL RECONSTRUCTIONS OF THE HOLOCENE AND PLEISTOCENE. THE ROLE OF MAN IN THE FORMATION OF THE MODERN APPEARANCE OF THE PEDOSPHERE

Burukina E.A., Khasanova A.K. Pasture digression as a factor of deterioration of pedosphere function.....	126
Kuklina S.L., Vorobyeva G.A., Budak A.A. Traces of cryogenic processes in the soils of the Southern Angara region.....	130
Rogiznaya Y.A., Samofalova I.A. Morphogenetic diagnostics of soils (Chuvalsky stone of the Northern Urals).....	134

Section 4. SOIL AND LAND RESOURCES: PROBLEMS OF ACCOUNTING, ASSESSMENT, USE AND PROTECTION

Valevich T.O., Merzlyakov O.E. Mountain forest chernozem-like soils of park-larch forests of Kuznetsk Alatau	139
Vlasenko O.A. The role of perennial grasses in the formation of carbon and nitrogen reserves of plant residues in agricultural soils of the Krasnoyarsk forest-steppe	142
Gileva D.A., Loginova E.V., Porokhina E.V. Enzymological activity in peat soils of a drained eutrophic swamp	146
Demyanenko T.N. The experience of studying the structure of soil cover of the Krasnoyarsk forest-steppe	150
Ergina E.I., Novitsky M.L., Artemova K.A. Soil and climatic characteristics of post-irrigation landscapes of the Tarkhankut peninsula	154
Zakharova M.K., Morgach Yu.R. Soil cover of power transmission line territories (on the example of Leningrad region)	158
Zakharova O.G., Chevychelov A.P. Transformation of the properties and phosphate state of permafrost chernozems of Central Yakutia under the influence of agrogenic impact	161
Ismukanova G.Zh. Degradation processes in Northern Kazakhstan as one of the consequences of unregulated development of virgin and fallow lands	165
Kozhamberlieva R.T., Raudina T.V., Nikonova L.G. The impact of drainage and pyrogenic effects on physicochemical properties of Dystric Hemic Histosols in the southern taiga of Western Siberia	170
Krupin A.M., Nikiforov A.N. Dynamics of soil organic matter in the indigenous dark coniferous forests of the southern taiga zone of Western Siberia at different stages of succession	174
Kuzmina D.M., Loiko S.V., Tkacheva A.A., Kulizhskiy S.P. The transformation of Luvic Phaeozems during long-term agrogenesis in southern Tomsk Region	178
Kuzmina N.P., Chevychelov A.P., Ermolaeva S.V. The number and composition of microbiocenoses of cryogenic forest and meadow-steppe soils of Central Yakutia	180
Kuidina S.A., Sokolov D.A., Morozov S.V. Comparative study of the composition of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of technogenic landscapes in the Gorlovo and Kuznetsk coal basins	184
Lobanova E.S. Anti-erosion resistance of sod-podzolic soils of the Perm region	188
Merzliakov N.S., Samofalova I.A. Ecological Characterization of Soild Municipal Waste Landfilm in Perm	291
Merkusheva M.G., Boloneva L.N. Humus and microbiological state as an indicator of assessment and degree of degradation of chestnut soils in Western Transbaikalia	195
Nadezhkin K.S., Yakovleva L.V., Stolyarova E.M. Evaluation of catalase activity in alluvial soil contaminated with oil	200

Nikiforov A.N., Nikonova L.G., Zelentsova A.E. The influence of invasive bark beetles on the properties of litter and soil of cedar forests in the Tomsk region....	203
Ruchkina K.V., Merzlyakov O.E., Babenko A.S. The effect of microplastics on growth and development rates of arugula seeds.....	207
Semenyuk A.V., Ruchkina K.V., Merzlyakov O.E. Migration capacity of oil products in soils on the territory of JSC Krasnoyarsknefteprodukt.....	212
Seredina V.P., Ovsyannikova S.V. Ecological and geochemical features of the behavior of heavy metals in the soils of the Kuznetsk forest-steppe	216
Sokolov D.A. Carbon sequestration by technogenic landscapes of coal deposits	219
Sokolova N.A. Changes in the soil-ecological state in the successional series of biocenoses of anthracite dumps in the forest-steppe of the Novosibirsk region	223
Sosorova S.B., Merkusheva M.G., Boloneva L.N. Desorption of sodium from the Gley salt marsh (Western Transbaikalia)	227
Yachmen L.P., Gilyov A.M. Estimation of humus content in the upper horizons of soils on the campus of Far Eastern Federal University.....	231
FROM THE PHOTO ARCHIVES OF THE DEPARTMENT AND ITS STAFF	235

Научное издание

ОТРАЖЕНИЕ
БИО-, ГЕО-, АНТРОПОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
В ПОЧВАХ И ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ

Сборник материалов
VIII Международной научной конференции,
посвященной 95-летию
кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ

*16–19 сентября 2025 г.,
г. Томск, Россия*

Компьютерная верстка О.А. Турчинович
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

Подписано в печать 01.08.2025 г. Формат 70×100¹/₁₆.
Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.
Печ. л. 16,63; усл. печ. л. 21,62; уч.-изд. 20,78.
Тираж 500 экз. Заказ № 6408.

Отпечатано на полиграфическом оборудовании
Издательства Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. 8(382-2) 53-15-28; 52-98-49
<http://publish.tsu.ru>; e-mail: rio.tsu@mail.ru

ISBN 978-5-907890-86-2

