

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2021

Том 4. Выпуск 3

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

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

Соколов Денис Александрович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Члены редколлегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Седов Сергей Николаевич – кандидат биологических наук, профессор, Институт геологии Национального автономного университета Мексики (Мехико, Мексика)

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

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

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

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

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

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

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

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

Содержание

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

От редакции

e162

Классификации почв и применение математических методов

Коршунова С.А., Куклина С.Л.

Статистический анализ данных химических и физических свойств аллювиальных почв долины реки Белой (Приангарье) и их интерпретация

e139

Физика и гидрология почв

Шапорина Н.А., Сайб Е.А.

Использование датчиков Decagon EC-5 для мониторинга влажности почвы

e153

Биология и биохимия почв

Данилова А.А., Петров А.А.

Вопросы интерпретации результатов биотеста с применением бактерий рода *Azotobacter*

e154

Юбилей и памятные даты

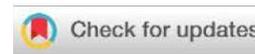
Нечаева Т.В., Соколова Н.А., Киселева Н.Д. Международная конференция «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем», посвященная 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и году Байкала

e155

Нечаева Т.В., Наумова Н.Б., Соколов Д.А., Степанова В.А., Корнаторова Н.Г., Лойко С.В., Якименко В.Н.

Светлой памяти Дениса Александровича Гаврилова – коллеги и друга – посвящается

e158



ОТ РЕДАКЦИИ

Уважаемый читатель! Наша жизнь состоит, как известно, не только из светлых дней и счастливых мгновений, но, к сожалению, и из темных полос, потерь и утрат. Вот и представляемый номер журнала содержит как описание интересных результатов научных исследований и празднования достойного юбилея, так и скорбные страницы...

В статье С.А. Коршуновой и С.Л. Куклиной рассматриваются подходы к применению методов математической статистики для обработки большого массива данных по химическим и физическим свойствам аллювиальных почв долины реки Белой (Приангарье) за длительный период времени (1993-2019 гг.). Авторы показывают, что использование методов математической статистики позволяет получить наглядные и информативные результаты, выявить зависимости между различными почвенными свойствами, а также установить особенности изменения свойств почв по профилю.

Исследователей, занимающихся изучением почвенной влаги и водного режима почв, может заинтересовать статья Н.А. Шапориной и Е.А. Сайб, рассматривающая возможность использования датчиков Decagon EC-5 в почвенно-физических исследованиях. Авторы установили, что по показаниям указанных датчиков можно проследить миграцию влаги по профилю почвы, дифференцировать влагу на гравитационную и малоподвижную, а также с точностью до часа установить факт выпадения осадков и их количество. Детальная фиксация состояния увлажнения почв, которую дает использование датчиков Decagon EC-5, с параллельным применением датчиков «Термохрон» для фиксации температуры, позволяет проводить исследования количественных показателей термоградиентного потока влаги в почве на новом, более высоком уровне.

Статья А.А. Даниловой и А.А. Петрова посвящена рассмотрению результатов биотеста с применением бактерий рода *Azotobacter*. Имеющиеся зачастую противоречия в интерпретации подобных данных при использовании азотобактера в качестве индикатора состояния почвы связаны с недооценкой того факта, что первоначально показатель был предложен для индикации плодородия пахотных почв. Как известно, последние относятся к разряду нарушенных, где остаются экологические ниши для размножения того же азотобактера, слабого конкурента автохтонной микрофлоры в целинной почве. Иными словами, проблема связана с различием критериев для оценки «хорошо» или «плохо» с точки зрения производительных и экологических функций почвы. Для разрешения проблемы авторы предлагают оценивать изменение обилия или скорости роста азотобактера при экспериментальном стрессе.

С 23 по 29 августа 2021 года в Иркутске состоялась V Международная научная-практическая конференция «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем», посвященная 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Иркутского государственного университета (ИГУ) и Году Байкала. Сотрудники Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН – Т.В. Нечаева, Н.А. Соколова – приняли активное участие в работе конференции и по ее итогам совместно с коллегой из ИГУ – Н.Д. Киселевой – подготовили обзорную статью с описанием пленарных и секционных докладов, а также двух экскурсий: научно-популярной на побережье озера Байкал и научно-полевой почвенной на Братское водохранилище. В статье приведены описание и фотографии почв, почвообразующих пород и основных ландшафтов Южного Приангарья, рассматриваются результаты лабораторных почвенных анализов. Классификационное описание всех представленных в статье почв дано с параллельным использованием двух отечественных классификационных систем: Классификация почв России (2004) и Классификация и диагностика почв СССР (1977).

Редакция журнала «Почвы и окружающая среда» с глубоким прискорбием сообщает, что 26 августа 2021 года скорпостижно скончался редактор нашего издания – Денис Александрович Гаврилов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ИПА СО РАН. Это тяжелая утрата как для коллектива редакции, так и всего Института. В опубликованном в номере материале, посвященном памяти нашего товарища и коллеги, представлены сведения о его научной и общественно-педагогической деятельности, приведены основные результаты и публикации по почвенным и почвенно-археологическим исследованиям, выполненным им как самостоятельно, так и совместно с другими учеными из учреждений науки и высшего образования

Российской Федерации и Республики Казахстан. Светлая память о Денисе Александровиче будет жить в сердцах коллег и друзей, а его научная деятельность найдет продолжение в работах других исследователей.

Редакция журнала

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



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



СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ РЕКИ БЕЛОЙ (ПРИАНГАРЬЕ) И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

© 2021 С. А. Коршунова , С. Л. Куклина 

ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет, ул. Карла Маркса 1, г. Иркутск, 664003, Россия. E-mail: korshunosveta98@bk.ru, kukl_swet@mail.ru

Цель исследования: провести статистическое описание химических и физических свойств большого массива аллювиальных почв.

Место и время проведения. Исследования проведены в долине реки Белой с 1993 по 2019 годы.

Методология. Результаты исследования обработаны и интерпретированы с помощью методов математической статистики: первичный статистический анализ, кластерный, корреляционный и квартильный анализы. Статистически обработаны данные 237 горизонтов аллювиальных почв (Fluvisols) долины реки Белой (Приангарье, 103°00'–104°00' в.д. и 52°40'–53°00' с.ш). Выделены следующие группы горизонтов: все горизонты, все гумусовые горизонты, все негумусовые горизонты.

Основные результаты. Выявлено, что большинство горизонтов характеризуются как слабощелочные, супесчаные, среднегумусные. Положительная связь между обменными кальцием и магнием для гумусовых и негумусовых горизонтов обусловлена их совместным нахождением в горных породах – доломитах. Кластерный анализ позволил выделить группы горизонтов (например, минеральные и минерально-органогенные), резко различающихся по почвенным свойствам.

Заключение. Большие массивы данных необходимо обрабатывать с помощью методов математической статистики, что позволяет не только выявлять зависимость почвенных свойств друг от друга, но и выделять особенности свойств почвенных горизонтов.

Ключевые слова: почвоведение, математическая статистика, аллювиальные почвы, Fluvisols

Цитирование: Коршунова С.А., Куклина С.Л. Статистический анализ данных химических и физических свойств аллювиальных почв долины реки Белой (Приангарье) и их интерпретация // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 3. e139. doi: 10.31251/pos.v4i3.139

ВВЕДЕНИЕ

Формирование статистики в научную дисциплину имеет давнюю историю и связано с деятельностью бельгийского статистика и математика Адольфа Кетле (1796–1874), который создал переход от сбора и количественного описания данных к установлению статистических закономерностей. Первые опыты по использованию статистических методов в почвоведении относятся к 1920-м годам (Чириков, Малюгин, 1926; Качинский, 1926, 1927; Астапов, 1928; Соколов, 1929; Изюмов, 1930 и др.) (цит. по Дмитриев, 1995).

В настоящее время имеется достаточное количество методов статистической обработки почвенных данных. Но, несмотря на это, существует проблема ограниченного использования математических методов в почвоведении. Достаточно часто статистика служит лишь для оценки достоверности различия выборок данных. Это актуально, так как почвоведом зачастую приходится обрабатывать большие массивы данных, оценивать надежность различий. Однако простые методы математической статистики очень важны для понимания структуры и варьирования почвенных свойств, а также специфики почвообразования.

Цель данной работы – провести статистическое описание химических и физических свойств большого массива аллювиальных почв.

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили физические и химические свойства аллювиальных почв реки Белой (левый приток реки Ангара), более подробно представленные в диссертации С.Л. Куклиной (2019). Рассмотрены такие почвенные свойства, как гранулометрический состав (по методу А.Н. Качинского), степень активности ионов водорода (pH_{H_2O} , потенциометрически),

содержание гумуса (по методу И.В. Тюрина), содержание обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} (в солевой вытяжке по методу И.В. Тюрина, комплексонометрически), содержание CaCO_3 (по методу И.Ф. Голубева, газовольнометрически).

Всего для статистической обработки были взяты аналитические данные по 27 почвенным разрезам, заложенным на трех уровнях поймы: высокой, средней и нижней (рис. 1).



Рисунок 1. Месторасположение почвенных разрезов в долине реки Белой.

Согласно классификации почв России (2004) на трех уровнях поймы реки Белой выделены следующие типы почв (рис. 2):

1. Аллювиальные серогумусовые глеевые (*Fluvisols*)
2. Аллювиальные перегнойно-темногумусовые глеевые (*Fluvisols*)
3. Аллювиальные серогумусовые (*Fluvisols*)
4. Аллювиальные агросерогумусовые реградированные
5. Аллювиальные темногумусовые (*Mollic Fluvisols*)
6. Аллювиальные агротемногумусовые (*Fluvisols*)
7. Агросерые метаморфические
8. Темно-серые метаморфические постагрогенные



Рисунок 2. Морфология почв на низком, среднем и высоком уровнях поймы реки Белой: аллювиальные серогумусовые глеевые типичные (разрезы: Хм-1, Миш-2, Т-3), аллювиальные серогумусовые типичные (разрез Хм-4) и аллювиальные темногумусовые типичные (разрез У-Х).

Название почв по классификации WRB (2014) – Fluvisols с главными диагностическими горизонтами: Mollic, Gleyic, Histic, Calcaric.

Такое разнообразие типов почв обусловило и разнообразие почвенных горизонтов, слагающих их профили. Для исследования использовано 237 почвенных горизонтов, разбитых на группы в соответствии с почвенным индексом:

- 96 гумусовых горизонтов:
- 5 горизонтов AU (Тёмногумусовый);
- 82 горизонта AY (Серогумусовый);
- 5 горизонтов AH (Перегнойно-темногумусовый);
- 4 горизонта P (Агрогумусовый);
- 129 негумусовых горизонтов:
- 11 горизонтов AG (группа погребенных горизонтов, в которых ярко выражены признаки оглеения и гумусированности);
- 59 горизонтов AC (данная группа горизонтов относится к погребенным, в которых ярко выражена гумусированность и почвообразующая порода);
- 50 горизонтов C[~];
- 9 горизонтов Sw (под этим индексом мы понимаем свежие аллювиальные наносы, представляющие собой субстрат для почвообразования, которые содержат аллохтонный гумус и находятся на начальной стадии зарастания растительностью);
- 12 гумусированных прослоек [h] (мощностью от 2 до 4 см).

В статье приведены наиболее показательные результаты статистической обработки данных.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для нашей цели были выбраны следующие статистические методы:

1. Выборка – это исследуемая часть наблюдений, на основании которых делаются заключения о процессах или явлениях. Цель ее состоит в том, чтобы подготовить данные для дальнейшего анализа (Дмитриев, 1995). Эти методом провели группировку почв по горизонтам.

2. Первичный статистический анализ. Первичными называются методы, с помощью которых можно получить показатели, непосредственно отражающие результаты производимых в эксперименте измерений (Чернова, 2007). Необходим для того, чтобы показать распределение горизонтов по группам их химических и физических свойств.

3. Кластерный анализ – это многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы (кластеры). Дендрограмма, то есть граф без циклов, построенный по матрице мер близости, позволяет изобразить взаимные связи между объектами из заданного множества. С помощью данного метода можно увидеть взаимосвязь между горизонтами, находящимися в различных точках заложения разрезов (Дмитриев, 1995).

4. Квартильный анализ. Используется для наглядного представления о разбросе полученных данных. Суть его заключается в том, чтобы выделить стандартный диапазон данных. Фактически это разница между значениями верхнего (75%) и нижнего (25%) квартилей. Также квартильный анализ помогает выявить грубые ошибки и значения, которые отличаются от стандартных значений и нуждаются в отдельной интерпретации (Дмитриев, 1995).

5. Корреляционный анализ – это количественный метод определения тесноты и направления взаимосвязи между химическими и физическими свойствами почв. Для вычисления был использован коэффициент корреляции Пирсона.

Для проведения статистического анализа была использована программа *STATISTICA 6.0*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения статистических анализов сделана выборка и группировка горизонтов аллювиальных почв реки Белой. Выделены следующие группы горизонтов: все горизонты, все гумусовые горизонты, все негумусовые горизонты.

С помощью описательной статистики выявлено, что в 237 показателях горизонтов аллювиальных почв, расположенных на высоком, среднем и низком уровнях поймы реки Белой, содержание гумуса варьирует от 0,18 до 28% (табл. 1).

Таблица 1

Результаты по описательной статистике некоторых свойств горизонтов аллювиальных почв

| Переменные | Физ. глина, % | pH _{H2O} | Гумус, % | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | ΣCa ²⁺ Mg ²⁺ | Ca ²⁺ /Mg ²⁺ | CaCO ₃ , % |
|---------------------------|---------------|-------------------|----------|------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| | | | | смоль(экв)/кг | | | | |
| Все горизонты | | | | | | | | |
| Объем выборки | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 | 87 |
| Среднее | 18,6 | 7,9 | 2,5 | 13,7 | 6,6 | 19,9 | 2,3 | 3,2 |
| Минимум | 2,0 | 5,9 | 0,2 | 3,3 | 2,0 | 5,6 | 0,2 | 0,2 |
| Максимум | 68,0 | 9,2 | 28,0* | 26,4 | 20,0 | 40,0 | 6,3 | 11,8 |
| Ошибка среднего | 12,8 | 0,6 | 3,4 | 1,6 | 3,0 | 1,2 | 1,0 | 3,0 |
| Все гумусовые горизонты | | | | | | | | |
| Объем выборки | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 30 |
| Среднее | 22,8 | 7,8 | 4,3 | 15,8 | 6,6 | 21,6 | 2,6 | 2,8 |
| Минимум | 8,0 | 5,9 | 1,7 | 5,6 | 2,9 | 8,5 | 0,8 | 2,8 |
| Максимум | 68,0 | 8,9 | 28,0 | 26,4 | 20,0 | 40,0 | 6,3 | 9,2 |
| Ошибка среднего | 12,2 | 0,6 | 4,4 | 9,8 | 3,4 | 6,3 | 1,1 | 2,7 |
| Все негумусовые горизонты | | | | | | | | |
| Объем выборки | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 | 56 |
| Среднее | 15,6 | 8,0 | 1,1 | 11,8 | 6,5 | 18,3 | 2,0 | 3,0 |
| Минимум | 2,0 | 6,4 | 0,2 | 3,3 | 2,0 | 5,6 | 0,2 | 0,2 |
| Максимум | 66,0 | 9,2 | 4,1 | 25,6 | 13,4 | 35,6 | 4,7 | 11,8 |
| Ошибка среднего | 1,1 | 0,0 | 1,4 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,4 |

Примечание: * – содержание гумуса в перегнойных горизонтах дано для сравнения с другими гумусовыми горизонтами, в них также определяли зольность.

В гумусовых горизонтах среднее содержание гумуса составляет 4,3%, и они относятся к среднегумусным, а в негумусовых горизонтах – 1,05% (см. табл. 1). Исследования свежих наносов показали, что они изначально содержат около 2% гумуса, и в дальнейшем его количество либо уменьшается (при быстром погребении наноса следующими), либо увеличивается (когда на поверхности успевает сформироваться дерновый или гумусовый горизонт).

Согласно разработанным грациям по степени кислотности почв (Минеев и др., 2017) все горизонты находятся в диапазоне от слабокислых (5,9) до сильнощелочных (9,2) со средним значением pH_{H2O} равным 7,9. Кислотно-основные свойства пойменных почв определяются гидрохимией речных и грунтовых вод, верховодки. Воды реки Белой имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав и слабую минерализацию, которые на многих участках поймы нейтрализуют органические кислоты, образующиеся в процессе разложения растительных остатков, и обеспечивают высокую или полную насыщенность почв основаниями. Сильное возрастание значений pH_{H2O} наблюдается в нижних горизонтах, что обусловлено подтоком вод, проходящим по трещинам и порам через нижнекембрийские доломиты и известняки, слагающие борта долины реки Белой на значительном ее протяжении. Слабокислая реакция наблюдается в темногомусовых горизонтах на высоком уровне поймы, где происходит подкисление верхних горизонтов образующимися органическими кислотами.

Гранулометрический состав почв меняется от песчаного (содержание физической глины 2%) до тяжелосуглинистого (68%), в среднем характеризуется как супесчаный (19%). Такой широкий диапазон в значениях физической глины связан с тем, что образцы почв отобраны на различных уровнях поймы, которые формировались в разные интервалы времени при различных особенностях гидрологического режима реки Белой и особенностях осадконакопления. Наиболее

легкий гранулометрический состав приурочен к приустьевым валам высокого и среднего уровней поймы, а также к сужениям долины реки Белая, где отмечается общее увеличение более крупных фракций в гранулометрическом составе аллювиальных почв.

Методом удаления карбонатов после взаимодействия с 10% HCl выявлено, что в среднем содержание карбонатов в почве составляет 3,2% с варьированием от 0,2 до 11,8%. Карбонаты присутствуют не во всех аллювиальных слоистых отложениях; чаще всего они отсутствуют в верхних частях профилей почв, что является типичной ситуацией при промывном режиме. Иногда в почвенном профиле карбонатные горизонты могут подстилаться бескарбонатными, где из-за высокой скорости течения реки Белой в почвах происходит активная латеральная миграция водных растворов, приводящая к вымыванию карбонатов. В целом карбонатность аллювиальных почв унаследована от горных пород – доломитов.

Кластерный анализ для гумусовых горизонтов аллювиальных серогумусовых почв. На дендрограмме гумусовых горизонтов (рис. 3) наблюдается объединение горизонтов разреза У-Х в отдельный кластер, что обусловлено тяжелосуглинистым гранулометрическим составом почвы с высоким содержанием физической глины (38–68%). Следует отметить, что этот разрез находится в пойме вблизи устья реки Хайта (правого притока реки Белой). Высокое содержание фракций средней и мелкой пыли в аллювиальных отложениях реки Хайта литологически унаследовано от юрских пород и их дериватов. Малое содержание песчаных фракций в разрезе У-Х связано с низкой скоростью течения реки Хайты, обусловленным ее геоморфологическим положением.

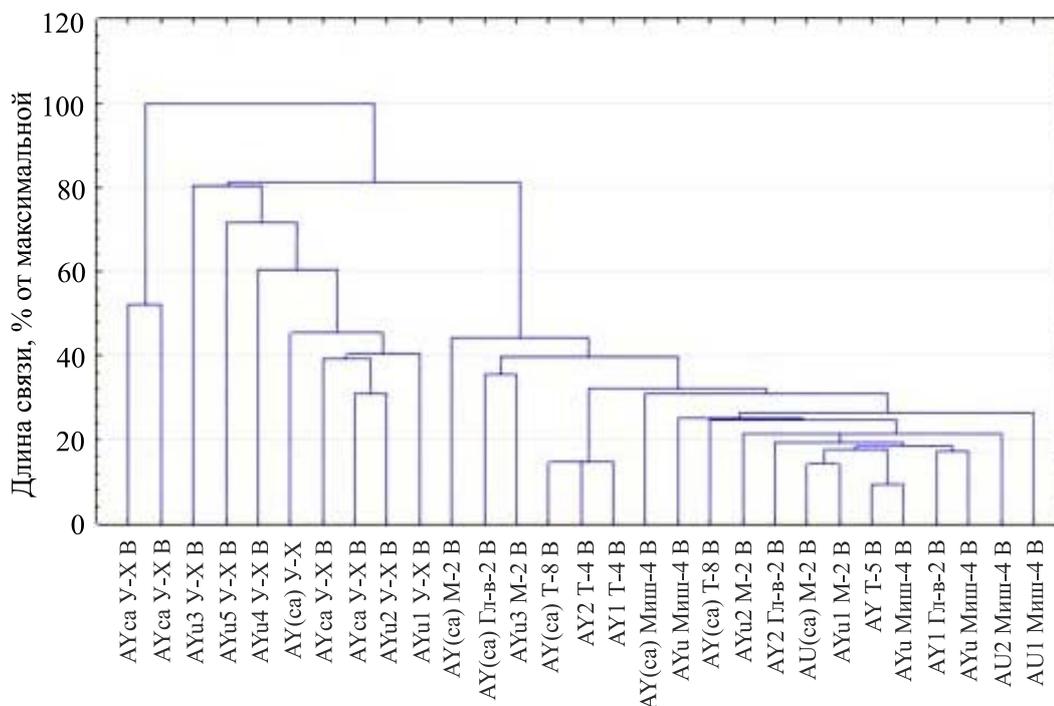


Рисунок 3. Кластеры гумусовых горизонтов аллювиальных серогумусовых почв (метод одиночной связи, Евклидово расстояние).

Условные обозначения в наименовании горизонтов (здесь и далее на рис. 4-5): АУ – индекс; 1, 2, 3 – номер; У-Х, М-2, Гл-в-2, Т-8, Т-4, Миш-4, Т-5 – разрез. В – высокий уровень поймы реки Белой.

В правой группе кластеров (см. рис. 3) собраны наиболее типичные и часто встречаемые горизонты АУ для пойм реки Белой. Они имеют в основном супесчаный и легкосуглинистый состав, что обусловлено особенностями геологического строения долины реки Белой, где широкое распространение имеют доломиты нижнего кембрия, которые при выветривании дают песчаные и крупнопылеватые частицы.

Кластерный анализ горизонтов АГ. На дендрограмме горизонтов АГ мы видим разделение на 2 кластера (рис. 4). Справа объединены горизонты легкого гранулометрического состава с преобладанием песчаных фракций (песок и супесь). Разрезы этих горизонтов заложены на поймах с относительной высотой от 0,5 до 1,5 м от среднего уреза воды. Слева объединены

горизонты тяжелого суглинистого состава. Данные горизонты относятся к разрезам, взятым в понижениях рельефа на расширенных участках низких пойм с относительной высотой 2,5 м от среднего уреза воды.

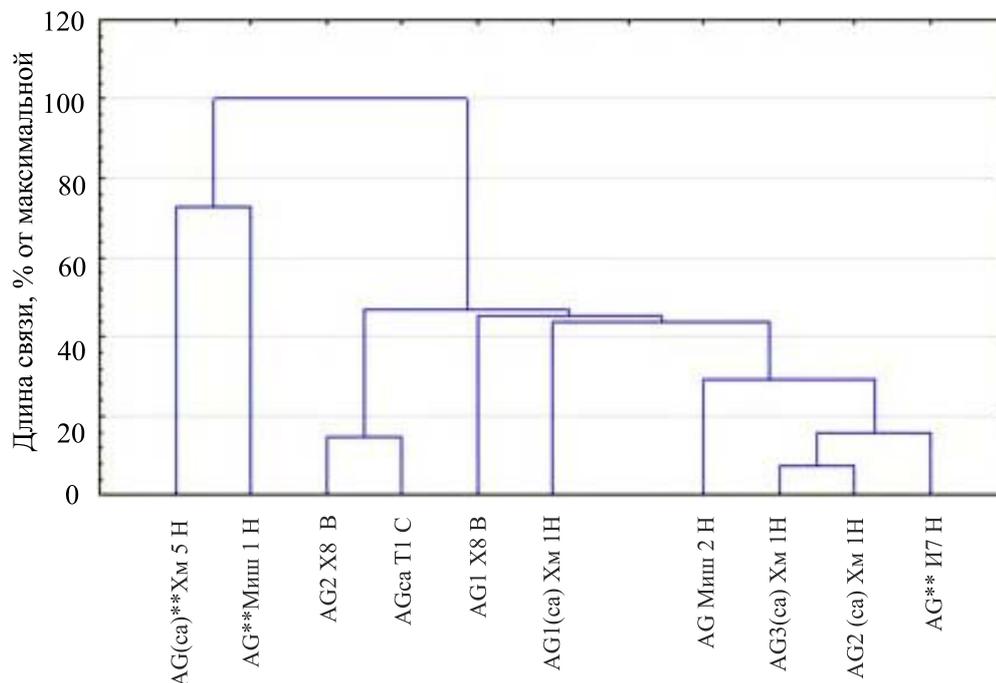


Рисунок 4. Кластеры горизонтов AG по гранулометрическому составу (метод одиночной связи, Евклидово расстояние).

Уровень поймы реки Белой: Н – низкий, С – средний, В – высокий.

Квартильный анализ гумусовых горизонтов аллювиальных темногумусовых почв. По легенде к рисунку 5 видно, что минимальное значение гумуса составляет 0,2%, что подтверждается результатами описательной статистики (см. табл. 1). Иное наблюдается для максимальных значений: квартильный анализ выдает результат 7,36%, хотя при описательной статистике было выявлено, что максимальный показатель гумуса равен 28%. При квартильном анализе все результаты выше 7,36% исключены из основного массива данных (рис. 5). Эти значения резко отличаются от остальных и составляют от 18 до 28%. Все отклонения относятся только к перегнойно-темногумусовым горизонтам (АН), что является их особенностью, т.е. они характеризуются высокими значениями по содержанию органического вещества.

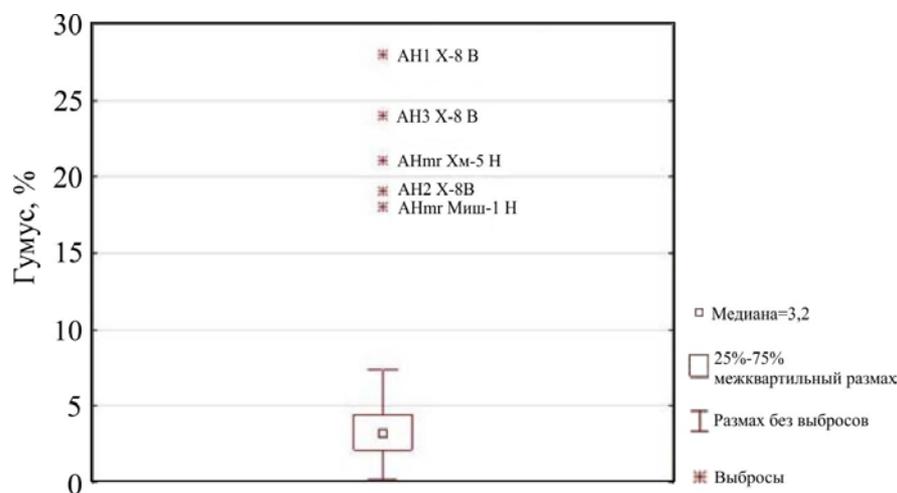


Рисунок 5. Квартильный анализ по показателю гумус, %.
Уровень поймы реки Белой: Н – низкий, В – высокий.

Корреляция для гумусовых горизонтов. Для анализа были взяты значения всех гумусовых горизонтов и проведен корреляционный анализ (табл. 2). По полученным данным видна степень зависимости и ее направление, то есть прямая или обратная (если значение отрицательное). Наблюдается отрицательная связь между показателями pH_{H_2O} и гумуса ($-0,59$). Их связь можно объяснить тем, что в гумусовых горизонтах образуются гумусовые кислоты, оказывающие влияние на pH почвенных горизонтов, значения которого уменьшаются. Положительная связь между обменными кальцием и магнием обусловлена их совместным нахождением в горных породах – доломитах нижнего кембрия, при выветривании доломитов в почвах высвобождаются оба элемента.

Таблица 2

Коэффициент корреляции (Пирсона) химических и физических свойств гумусовых горизонтов

| Свойства почв | pH_{H_2O} | Гумус | Обменный | | Физ. глина |
|--------------------|-------------|--------------|-------------|-----------|------------|
| | | | Ca^{2+} | Mg^{2+} | |
| pH_{H_2O} | – | -0,59 | -0,10 | -0,05 | -0,06 |
| Гумус | -0,59 | – | 0,15 | 0,24 | 0,21 |
| Обменный Ca^{2+} | -0,10 | 0,15 | – | 0,53 | 0,35 |
| Обменный Mg^{2+} | -0,05 | 0,24 | 0,53 | – | 0,53 |
| Физ. глина | -0,06 | 0,21 | 0,35 | 0,55 | – |

Корреляция для негумусовых горизонтов. Наиболее приближенный положительный коэффициент корреляции ($r=0,37$) в негумусовых горизонтах наблюдается между обменными кальцием и магнием (табл. 3). Это объясняется их совместным нахождением в доломитах (имеющих формулу $CaMg[CO_3]_2$), в которые врезана река Белая. Наблюдается слабая связь между физической глиной и гумусом ($r=0,34$), что обусловлено привнесом в наилках вместе с мелкими частицами большего количества гумуса, чем с крупными частицами.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции (Пирсона) химических и физических свойств негумусовых горизонтов

| Свойства почв | pH_{H_2O} | Гумус | Обменный | | Физ. глина |
|--------------------|-------------|-------|-----------|-----------|------------|
| | | | Ca^{2+} | Mg^{2+} | |
| pH_{H_2O} | – | 0,27 | -0,15 | -0,13 | 0,07 |
| Гумус | 0,27 | – | 0,24 | 0,05 | 0,34 |
| Обменный Ca^{2+} | -0,15 | 0,24 | – | 0,37 | 0,28 |
| Обменный Mg^{2+} | -0,13 | 0,05 | 0,37 | – | 0,00 |
| Физ. глина | 0,07 | 0,34 | 0,28 | 0,00 | – |

Таким образом, при анализе химических и физических свойств аллювиальных почв реки Белой были использованы разные методы математической статистики (выборка, первичный статистический анализ, квартильный, корреляционный и кластерный анализы), что позволило получить наглядные и несложные в понимании результаты.

ВЫВОДЫ

1. С помощью статистической обработки проведены вычисления и интерпретация некоторых химических и физических свойств аллювиальных почв реки Белой, а также выявлена зависимость рассмотренных почвенных свойств друг от друга.

2. С помощью первичного статистического анализа установлено, что значительную часть горизонтов аллювиальных почв долины реки Белой можно характеризовать как слабощелочные, супесчаные, среднегумусные.

3. Кластерный анализ данных для аллювиальных серогумусовых почв позволил выявить структуру взаимосвязи между разными горизонтами и почвами: гумусовые горизонты почвенного разреза У-Х были выделены в отдельную группу, что обусловлено их тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, связанным с особенностями местоположения разреза.

4. Квартильный анализ гумусовых горизонтов по содержанию гумуса показал, что все результаты выше 7,36% являются выбросами и исключены из основного массива данных для расчета медианы (значения от 18 до 28%). Оказалось, что эти выбросы связаны только с перегнойно-темногумусовым горизонтом. Таким образом, используя данный анализ можно выявить специфические особенности горизонтов.

5. При проведении корреляционного анализа для гумусовых и негумусовых горизонтов выявлена положительная связь между обменными кальцием и магнием, что обусловлено их совместным нахождением в горных породах – доломитах. Корреляция химических и физических почвенных свойств показывает тесноту связи между ними и возможность определения того, что конкретно в данном случае, объекты исследования имеют общее происхождение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев Е.А. *Математическая статистика в почвоведении*. М.: МГУ, 1995. 291 с.
2. Ивченко Г.И. *Математическая статистика*. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. 352 с.
3. *Классификация почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
4. Куклина С.Л. *Аллювиальные почвы и палеоэкологические условия их образования в долине р. Белой (Западное Прибайкалье) (1993-2019)*. Дисс. ... к.б.н. Иркутск, 2019. 231 с.
5. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. *Агрохимия*. М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
6. Нигей Н.В. *Корреляционный и регрессионный анализ*. Благовещенск: Амурская государственная медицинская академия, 2013. 10 с.
7. Рукавишников Н.Г. *Статистический анализ данных и способы представления результатов исследования*. Ярославль: ЯГПУ, 2000. 47 с.
8. Чернова Н. И. *Математическая статистика*. Новосибирск: НГУ, 2007. 148 с.
9. *IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports. № 106*. FAO, Rome, 2014. 181 p.

Поступила в редакцию 22.05.2021

Принята 16.12.2021

Опубликована 16.12.2021

Сведения об авторах:

Коршунова Светлана Александровна - старший лаборант, ФГБОУ ВО Иркутский Государственный Университет, Биолого-почвенный факультет, кафедра почвоведения и оценки земельных ресурсов, г. Иркутск, Россия; korshunosveta98@bk.ru

Куклина Светлана Леонидовна – к.б.н., доцент, ФГБОУ ВО Иркутский Государственный Университет, Биолого-почвенный факультет, кафедра почвоведения и оценки земельных ресурсов, г. Иркутск, Россия; kukl_swet@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

STATISTICAL ANALYSIS OF CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF THE ALLUVIAL SOILS IN THE BELAYA RIVER VALLEY (NEAR-ANGARA REGION) AND ITS INTERPRETATION

© 2021 S. A. Korshunova , S. L. Kuklina 

Irkutsk State University, Karl Marx Street 1, Irkutsk, 664003, Russia. E-mail: korshunosveta98@bk.ru, kukl_swet@mail.ru

The aim of the study: to describe chemical and physical properties of alluvial soils using a big array of data.

Location and time of the study. The study was carried out in the Belaya River valley from 1993 to 2019.

Methodology. The data of 237 soil samples collected from genetic horizons of alluvial soils from the Belaya River Valley (52°40'–53°00'N, 103°00'–104°00'E, Priangariye, Russia) were statistically processed by using descriptive statistics, cluster and correlation analyses. To perform statistical analyses soil samples were grouped according to their humus content: all horizons, all humus horizons, all non-humus horizons.

Main results. Most of the horizons were characterized as slightly alkaline, sandy loam, medium humus ones. The positive relationship between exchangeable Ca^{2+} and Mg^{2+} is due to their joint presence in parent rock material, i.e. dolomite. Cluster analysis allowed identifying groups of horizons (for example, mineral and mineral-organogenic), sharply differing in properties.

Conclusion. The presented chemical and physical properties of alluvial soils described using a big array of soil samples, can be used as a reference for monitoring their change in the future due to various natural and anthropogenic factors.

Key words: soil science; mathematical statistics; alluvial soils; fluvisols.

How to cite: Korshunova S.A., Kuklina S.L. Statistical analyses of chemical and physical properties of alluvial soils in the Belaya river valley (Near-Angara region) and its interpretation // *The Journal of Soils and Environment*. 2021. 4(3). e139. doi: [10.31251/pos.v4i3.139](https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.139) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Dmitriev E.A. *Mathematical statistics in soil science*. M.: MSU, 1995, 291 p. (in Russian)
2. Ivchenko G.I. *Math statistics*. M.: Book House "LIBROKOM", 2014, 352 p. (in Russian)
3. *Soil classification of Russia* / Authors and compilers: L.L. Scishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova. Smolensk: Oykumena Publ., 2004, 342 p. (in Russian)
4. Kuklina S.L. *Alluvial soils and paleoecological conditions of their formation in the valley of the r. White (Western Baikal region) (1993-2019)*. Dis. Cand. of Biol. Sci. Irkutsk, 2019, 231 p. (in Russian)
5. Mineev V.G., Sychev V.G., Gamzikov G.P. *Agrochemistry*. M.: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, 2017, 854 p. (in Russian)
6. Nigei N.V. *Correlation and regression analysis*. Blagoveshchensk: Amur State Medical Academy Publishing House, 2013, 10 p. (in Russian)
7. Rukavishnikova N.G. *Statistical analysis of data and ways of presenting research results*. Yaroslavl: YAGPU Publishing House, 2000, 47 p. (in Russian)
8. Chernova N.I. *Mathematical statistics*. Novosibirsk: NGU Publishing House, 2007, 148 p. (in Russian)
9. IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports. № 106. FAO, Rome, 2014, 181 p.

Received 22 May 2021

Accepted 16 December 2021

Published 16 December 2021

About the author(s):

Korshunova Svetlana Aleksandrovna – Senior Laboratory Assistant, Irkutsk State University, Faculty of Biology and Soil Science, Department of Soil Science and Land Resources Assessment, Irkutsk, Russia; korshunosveta98@bk.ru

Kuklina Svetlana Leonidovna - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Irkutsk State University, Faculty of Biology and Soil Science, Department of Soil Science and Land Resources Assessment, Irkutsk, Russia; kukl_swet@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript



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



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКОВ DECAGON EC-5 ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

© 2021 Н. А. Шапорина, Е. А. Сайб 

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

Цель исследования: оценить возможности использования в научно-исследовательской работе датчика Decagon EC-5, прежде всего, при его стационарной установке; изучить с его помощью динамику увлажнения профиля почвы и миграцию влаги при различных погодных условиях.

Место и время проведения. Исследования проводились на территории Усть-Каменского (лесостепного) стационара Института почвоведения и агрохимии СО РАН (координаты по GPS: 55,005507 с. ш., 83,858635 в. д.). Объектом исследования являлась темно-серая лесная почва. В небольшой почвенный разрез глубиной 30 см было установлено 5 датчиков Decagon EC-5 на уровнях 9 см, 13 см, 18 см, 22 и 27 см, которые были присоединены к регистратору Em50. Предварительно проведены необходимые тарировочные работы. Датчики функционировали с 13 июня по 7 июля 2017 года.

Основные результаты. Исследования показали, что датчик Decagon EC-5 подходит для решения широкого круга задач. По показаниям датчика можно проследить миграцию влаги по профилю почвы, дифференцировать влагу на гравитационную и малоподвижную, а также, с точностью до часа установить факт выпадения осадков и их количество. Статистическая обработка полученных данных показала низкие значения дисперсии и коэффициента вариации, что говорит об их высокой статистической однородности. Применение этих датчиков может усовершенствовать традиционный метод определения предельной полевой влагоемкости. Кроме того, детальная фиксация увлажнения почв, которую дает применение датчиков Decagon EC-5, с параллельным использованием датчиков «Термохрон» для фиксации температуры, позволяет проводить исследования количественных показателей термоградиентного потока влаги на новом, более высоком уровне.

Заключение. Исследования показали, что датчик Decagon EC-5 соответствует своим техническим характеристикам и имеет значительный потенциал использования как в научных исследованиях, так и на производстве. При его предварительной тарировке и построении соответствующих градуировочных графиков для изучаемых почв, датчик позволяет быстро и безошибочно измерять объемную влажность почв. Частота и скорость получения показаний с датчика выводит исследования по динамике и миграции влаги в почвах на совершенно новый уровень.

Ключевые слова: влажность почв; датчик Decagon EC-5; предельная полевая влагоемкость; динамика и миграция влаги.

Цитирование: Шапорина Н.А., Сайб Е.А. Использование датчиков Decagon EC-5 для мониторинга влажности почвы // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 3. e153. doi: [10.31251/pos.v4i3.153](https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.153)

ВВЕДЕНИЕ

Большая пестрота почвенного покрова, типичная для значительной части пахотных угодий страны, обуславливает необходимость внедрения точного земледелия. Последнее представляет собой интегрированную сельскохозяйственную систему управления, основанную на достижениях науки, информационных технологий и сенсорной техники, нацеленную на оптимизацию агропромышленных технологий и стабилизацию продуктивности агроценозов (Труфляк, 2018). Зондирование влажности почвы – одна из технологий планирования полива. Важнейшей характеристикой водного режима почв является предельная полевая влагоемкость (ППВ) или наименьшая влагоемкость (НВ) почвы. Данными терминами обозначают максимальное количество воды, которое может удержать почва после стекания всей гравитационной влаги (Салихов и др., 2018). Именно капиллярно-подвешенная влага, находящаяся в промежутке между наименьшей влагоемкостью и точкой устойчивого завядания, доступна растениям. Длительное состояние насыщения почвы влагой способствует развитию анаэробных процессов, снижению почвенного плодородия и продуктивности растений. Оптимальными значениями для нормального развития растений считают влажность почв в пределах от 50% до ППВ, но в зависимости от

гранулометрического состава почв эти значения могут отличаться. Верхний 10-сантиметровый слой почв обычно обладает наибольшей влагоемкостью из-за более высокой гумусированности и наличия большого числа отмирающих растительных остатков; с глубиной влагоемкость закономерно снижается. От содержания влаги в почвах также в значительной степени зависит растворение и миграция доступных для растений питательных веществ. В этой связи процесс сбора необходимых данных о влажности почв может быть значительно ускорено применением современной сенсорной техники.

В настоящее время существует множество различных коммерческих систем и датчиков для мониторинга влажности почв, но чаще всего землепользователи либо не знакомы с этими системами, либо не имеют финансовой возможности их приобретения; кроме того, зачастую очень сложно принять обоснованное решение о том, какой датчик лучше использовать и как интерпретировать данные, полученные с их помощью. Поэтому важно изучать возможности датчиков, предлагаемых коммерческими разработчиками, и выработать обоснованные рекомендации по их использованию.

Так, группа ученых из университета Клемсона в Южной Каролине исследовали работу трех типов датчиков: Decagon EC-5, Vegetronix VH400 и Watermark 200ss, обычно используемых для мониторинга влажности почв, и выяснили, что некоторые характеристики почв – такие как структура, засоленность и температура – могут влиять на реакцию датчиков и приводить к получению ошибочных данных (Payero et al., 2017b). Поэтому было рекомендовано проводить калибровку датчиков для конкретного типа почв, а также предложена беспроводная сеть для мониторинга влажности почв на базе Arduino с использованием датчиков Decagon EC-5. Полевые испытания данной системы показали, что эти датчики влажности почвы правильно реагируют на изменения содержания воды в почве из-за дождя или высыхания почвы (Payero et al., 2017a).

Имеется опыт использования датчика EC-5 в производственной практике: например, при создании автоматизированных устройств полива для теплиц и оросительных систем. Однако, следует отметить, что практически не исследованы возможности использования датчика EC-5 при его стационарной установке в научной практике, что и стало основной целью данного исследования. В настоящей статье представлены результаты изучения динамики увлажнения профиля почвы и миграции влаги с использованием датчиков EC-5 в стационарных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2016 году лабораторией почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН (ПФП ИПА СО РАН) был приобретен датчик Decagon EC-5, который определяет объемное содержание влаги путем измерения диэлектрической проницаемости среды; он спроектирован для стационарной установки с целью проведения режимных (постоянных) наблюдений в диапазоне температур внешней среды от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$ (Decagon Devices, 2014). Технические характеристики этого датчика были подробно исследованы А. В. Чичулиным (Чичулин, 2018).

Исследования проводили на территории Усть-Каменского (лесостепного) стационара Института почвоведения и агрохимии СО РАН (координаты по GPS: 55,005507 с. ш., 83,858635 в. д.), расположенного в пределах Буготакского мелкосопочника. Согласно современному геоморфологическому районированию, данная территория относится к Буготакскому району Кузнецко-Салаирской провинции Алтае-Саянской горной области, являющейся частью Предсалаирской денудационно-аккумулятивной равнины (Вдовин, 1988; Вдовин, Малолетко, 1969; Николаев, 1978). Объектом исследования послужила темно-серая лесная почва, гранулометрический состав которой определен как средний суглинок иловато-крупнопылеватый, характеризующийся плохой макроструктурностью и удовлетворительной микроструктурностью.

Предварительно сотрудниками лаборатории ПФП ИПА СО РАН были проведены работы по тщательной тарировке датчика Decagon EC-5, так как по данным исследований А. Ф. Чудновского с соавторами (1985) диэлектрическая постоянная, которую измеряют эти датчики, зависит не только от увлажненности почвы, но и от ее плотности. Таким образом, на основе полевых и лабораторных (с контролируемыми условиями) опытов было подобрано несколько математических моделей градуировки датчиков, которые отражают зависимости диэлектрической постоянной от влажности и плотности для изучаемых почв (Чичулин, 2018).

На стационаре был подготовлен небольшой почвенный разрез глубиной 30 см, в вертикальную стенку которого параллельно поверхности установлено 5 датчиков на уровнях 9 см, 13 см, 18 см, 22 и 27 см, то есть расстояние между датчиками составило 4–5 см. Датчики были подсоединены к регистратору данных Em50 и запрограммированы на фиксацию показаний влажности через каждые полчаса. Датчики функционировали с 22 часов 30 минут 13 июня до 11 часов 30 минут 7 июля 2017 года (24 дня). Всего в полевых условиях было произведено 1134 замеров показаний датчиков экспериментального прибора; полученные данные проанализированы, статистически обработаны и представлены в виде таблиц и графиков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В состоянии погоды за период функционирования датчиков наблюдалось два этапа: 1) с 13 по 30 июня – без осадков со средней температурой воздуха 27,6 °С днем и 14 °С ночью и 2) с 1 по 7 июля – 22,8 °С днем и 12,5 °С ночью при периодическом выпадении осадков различной интенсивности, в том числе ливневых.

Статистические показатели увлажнения пахотного слоя, рассчитанные по показаниям датчиков в течение 24 суток, представлены в таблице. Данные разделены по периодам согласно погодным условиям. Общий уровень увлажнения в процессе эксперимента был высоким – от 90% НВ до НВ. Колебания средних показателей влажности составили в слое 0–15 см от 30,7% от объема до 37,9% за весь период наблюдений. В слое 20–30 см – от 21,7 до 26,5%. Максимальные величины достигали 40,9% во влажный период. Интервал варьирования влажности закономерно снижался вниз по профилю от 6,6 до 2% в сухой период и от 9 до 2,7% во влажный.

Таблица

Статистические характеристики увлажнения пахотного горизонта темно-серой лесной почвы по показаниям датчиков Decagon EC-5, об. %

| Период | С 13 июня по 30 июня (сухо, жарко) | | | | | С 1 июля по 7 июля (влажно, умеренно) | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|---------------------------------------|------|------|------|------|
| | 9 | 13 | 18 | 22 | 27 | 9 | 13 | 18 | 22 | 27 |
| Глубина установки датчика, см | | | | | | | | | | |
| Средние | 31,9 | 30,7 | 26,5 | 32,7 | 21,7 | 37,6 | 37,9 | 31,9 | 36,3 | 23,7 |
| Максимум | 36,1 | 32,7 | 27,6 | 33,4 | 22,2 | 40,9 | 40,2 | 34,3 | 37,7 | 24,7 |
| Минимум | 29,5 | 28,7 | 25,0 | 30,9 | 20,2 | 31,9 | 31,9 | 27 | 33,1 | 22 |
| Размах колебаний | 6,6 | 4,0 | 2,6 | 2,5 | 2,0 | 9,0 | 8,3 | 7,3 | 4,6 | 2,7 |
| Стандартное отклонение | 1,9 | 1,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 3,0 | 3,2 | 2,6 | 1,7 | 1,0 |
| Дисперсия | 3,8 | 1,9 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 9,2 | 10 | 6,6 | 3,0 | 1,0 |
| Коэффициент вариации, % | 6,1 | 4,4 | 1,4 | 1,2 | 1,6 | 8,1 | 8,3 | 8 | 4,8 | 4,3 |

Как видно из таблицы, дисперсия и коэффициент вариации имеют небольшие значения, что свидетельствует об однородности полученных данных. Следует отметить, что коэффициент вариации значений уменьшается с глубиной, что связано с увеличением плотности почвы вниз по профилю и снижением ее водопроницаемой способности.

На рисунке 1 представлены в графической форме показания датчиков, установленных на разных глубинах с 13 июня по 7 июля 2017 года. График отчетливо отражает, что показания датчика, установленного на глубине 22 см, выбиваются из ряда закономерностей, установленных выше. Этот слой значительно влажнее как выше-, так и нижележащих слоев. Эта особенность связана с морфологией пахотных серых лесных почв. Прежде всего, следует отметить, что объемная масса их пахотного слоя, как более гумусированного и ежегодно обрабатываемого, изменяется от 0,99 до 1,25 г/см³ и составляет в среднем 1,07 г/см³. В подпахотном горизонте ниже

плужной подошвы объемная масса существенно повышается – до 1,31–1,45 г/см³ (Хмелев, Танасиенко, 2009). Вследствие этого водопроницаемость подпахотного горизонта значительно ниже пахотного, что мы и наблюдаем в нашем эксперименте. Влага остается постоянной на глубине 22 см, практически в неизменном количестве, пополняясь только при выпадении значительного количества осадков. Таким образом, датчик, установленный на данной глубине, зафиксировал показатели, соответствующие плужной подошве.

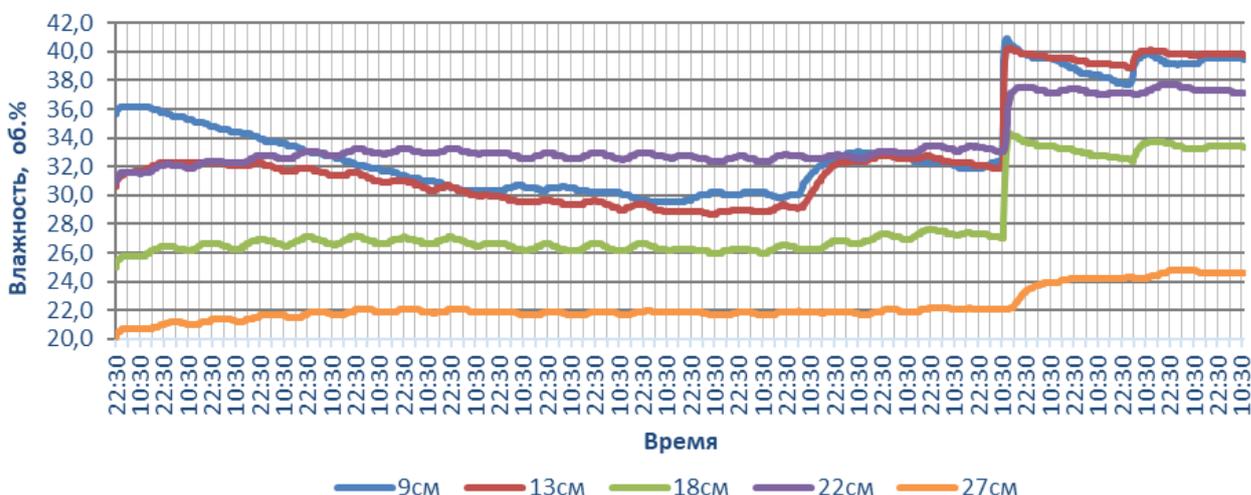


Рисунок 1. Колебание влажности (% от объема) по показаниям датчиков Decagon EC-5, установленных на глубинах 9, 13, 18, 22 и 27 см с 13 июня по 7 июля 2017 года

Колебания влажности по каждому горизонту позволяют проследить миграцию влаги в пределах профиля, а зная величину ППВ (предельной полевой влагоемкости) можно дифференцировать ее на подвижную (гравитационную) и малоподвижную. Используя эти данные, можно с точностью до минут установить факт выпадения даже незначительных осадков (2–3 мм). Так, 2 июля 2017 года дождь значительной интенсивности начался в 10:30 утра (рис. 2). Уже в 11:00 часов влажность начала увеличиваться на глубине 9 и 13 см, в 11:30 на глубине 18 см. К 13:00 часам вся поступившая влага разместилась в слое 18 см. Исходное увлажнение на глубинах 9 и 13 см составило 32–33% от объема, на глубине 18 см – 27%.

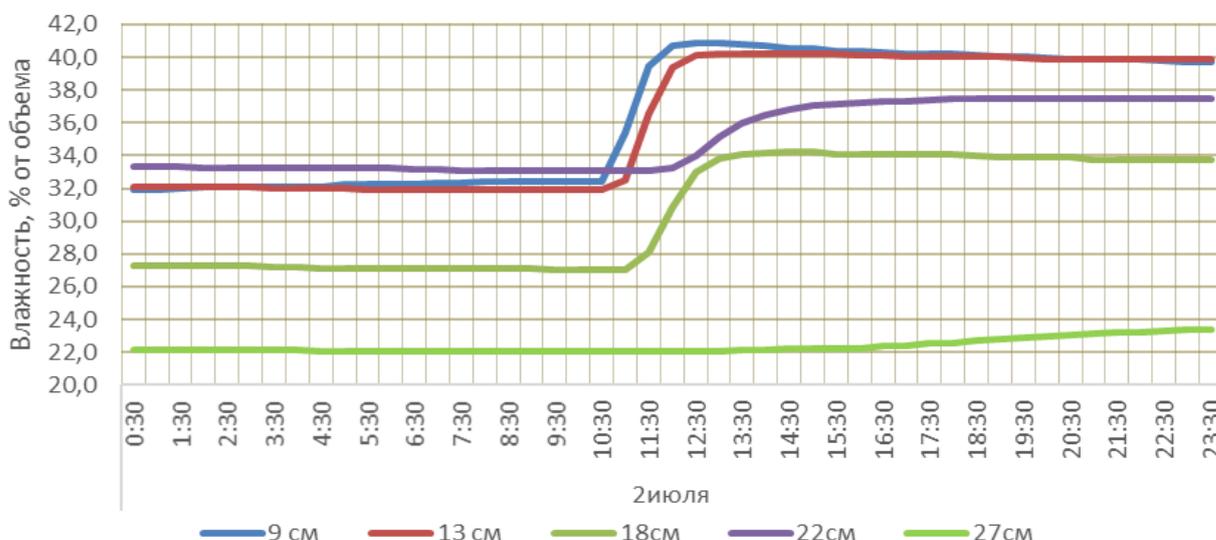


Рисунок 2. Колебание влажности (% от объема) за 2 июля 2017 года по показаниям датчиков Decagon EC-5, установленных на глубинах 9, 13, 18, 22 и 27 см

После 13:00 часов увлажнение в слое 9 см составило 41% объема, в слое 9–13 мм – 40%. Таким образом, в слое 0–9 см влажность увеличилась на 9%, в слое 9–13 см на 8 % и в слое 13–18 см на 7%. Проведенные расчеты показали, что запасы влаги в указанных слоях увеличились на 8, 3,2 и 3,5 мм соответственно. Суммарно в слое 0–18 см влажность увеличилась на 34%, а запасы влаги возросли на 14,7 мм. Если исключить факт стекания влаги по поверхности, можно утверждать, что выпало не менее 15 мм осадков. Следовательно, по показаниям прибора можно проследить миграцию влаги в пределах почвенного профиля и достаточно точно отследить факт выпадения осадков, посчитав их количество.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как уже отмечалось выше, определение показателей ППВ является очень важной частью в точном земледелии. Традиционный метод определения ППВ предполагает весьма трудоемкую и длительную процедуру, основанную на «методе заливаемых площадок» (Салихов и др., 2018). Возможности датчиков позволяют усовершенствовать метод определения предельной полевой влагоемкости почв, сделав его более быстрым и, на наш взгляд, более точным. Использование датчиков ЕС-5 позволяет исключить такой трудоемкий и длительный процесс, как определение влажности термостатно-весовым методом, когда при бурении и отборе образцов через 1, 3, 5 и т. д. суток площадку приходится открывать и располагать скважины каждый раз в другом месте, что приводит к определенным ошибкам, связанным с неравномерностью увлажнения по площадке. Использование датчиков позволяет исключить эти ошибки, и, кроме того, сократить размеры площадки, а, значит, уменьшить количество заливаемой воды. Постоянный мониторинг увлажнения почвы даст возможность точно определить как момент полного насыщения после залива, так и момент стекания гравитационной влаги и установления капиллярного равновесия и, тем самым, сэкономить время.

Еще одна возможность использования датчика была обнаружена и обоснована в 2017 году сотрудником лаборатории А.В. Чичулиным. В ходе изучения технических характеристик и конструктивных особенностей этого датчика, исследователь пришел к выводу, что его можно использовать в качестве мобильного (переносного) устройства для изучения пространственно-временной неоднородности влажности почв, а применение переносного компьютера значительно сократит время, затрачиваемое на определение влажности почв (на 10 повторностей с 1 м² потребуется примерно 5 минут), особенно учитывая, что на определение влажности классическим термостатно-весовым методом на такую же площадь и число повторностей необходимо от 15 до 24 часов (Чичулин, 2018).

В то же время, предлагаемый метод мобильного применения датчика ЕС-5, на наш взгляд, имеет ряд недостатков. Во-первых, при погружении зубцов датчика на максимально возможную глубину охватываемый измерениями слой почвы составляет всего 8 см. Чтобы проводить измерения не только с поверхности, необходимо последовательно снимать слои почвы до нужной глубины, что существенно снизит скорость определений при изучении пространственного распределения влажности, особенно при большом количестве повторностей. Во-вторых, отметим, что на глубину 5–8 см датчик легко вводится и извлекается только на рыхлых почвах (0,75–1,0 г/см³). Введение датчика в более плотную почву, особенно с плотностью выше 1,3 г/см³, весьма затруднительно и часто приводит к поломкам его зубцов. Несмотря на это, использование его как мобильного устройства для изучения вариабельности почвенной влажности является вполне оправданным. С использованием этого метода сотрудниками лаборатории было получено большое количество данных, на основе которых был опубликован ряд работ, посвященных вариабельности водно-физических свойств почв Предсалаирья (Шапорина, Чичулин, 2018; Шапорина и др., 2018; Шапорина, Сайб, 2020) и их латеральной изменчивости (Шапорина, Сайб, 2019).

Еще одной потенциальной возможностью использования датчика является изучение с его помощью термоградиентного переноса влаги, о чем свидетельствуют четкие суточные колебания увлажнения, которые помимо общего направления снижения или увеличения увлажнения отражены на кривых графика (рис. 1) и являются графическим его выражением. Наиболее подробно механизм данного процесса описал А.М. Глобус (1983), назвав его парожидкостным потоком. По мнению большинства исследователей этого процесса, термоградиентный перенос влаги в почвах неразрывно связан с ритмикой поступления солнечной энергии (в виде тепла) на Землю и, соответственно, представляет собой глобальное явление. Много внимания уделял изучению данного процесса Н.Ф. Кулик (2016; 2018). Он отмечал, что движение пара в поровом

пространстве происходит в направлении теплового потока и играет важное значение в водном питании растений, это связано с тем, что данное явление обеспечивает конденсацию пара почвенной влаги из нижележащих слоев почв на корнях растений, которые обычно располагаются в верхних 20–30 см почвы. Также установлено, что интенсивность термоградиентного переноса в значительной степени зависит от температуры, величины порового пространства, влажности и засоления почвогрунтов. Детальная фиксация увлажнения с помощью датчиков ЕС-5, с параллельным использованием датчиков «Термохрон» для фиксации температуры, позволит поставить задачу исследования количественных показателей термоградиентного потока влаги на новый уровень. Такие исследования особенно актуальны и востребованы для регионов Сибири, где они ранее не проводились.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что датчик Decagon EC-5 соответствует своим техническим характеристикам, позволяя быстро и безошибочно измерять объемную влажность почвы, при обязательном условии его предварительной тарировки и построения соответствующих градуировочных кривых для изучаемых почв. Данное устройство подходит для решения достаточно широкого круга как производственных, так и научных задач.

Наблюдения за колебаниями влажности в отдельных почвенных слоях позволили проследить миграцию влаги и дифференцировать ее на подвижную (гравитационную) и малоподвижную; с точностью до часа в течении суток отметить факт выпадения осадков, а также с достаточной достоверностью посчитать их количество.

Низкие значения дисперсии и коэффициента вариации, полученные при статистической обработке показаний по периодам (сухому и влажному) погодных условий, свидетельствуют об их высокой статистической однородности. Отмечено, что дисперсия и коэффициент вариации снижаются вниз по профилю; это подтверждает, что почвенные слои, лежащие ниже плужной подошвы, более плотные, чем почва верхнего пахотного горизонта; скорость их промачивания и иссушения более низкая, соответственно, показатели увлажненности остаются более постоянными.

На кривых графиков зафиксированы довольно четкие суточные колебания увлажнения как показатели термоградиентного переноса влаги. Выявленный факт должен послужить стимулом для дальнейшего изучения этого важнейшего процесса в условиях Сибири. Определение предельной полевой влагоемкости почв с помощью датчиков Decagon EC-5 является значительно более простым и быстрым методом по сравнению с традиционным, достаточно трудоемким и длительным термостатно-весовым методом.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН в рамках программы, финансируемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вдовин В.В. *Кузнецко-Салаирская провинция* // Рельеф Алтае-Саянской области. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. С. 40–71.
2. Вдовин В.В., Малолетко А.М. *Салаирский кряж* // Алтае-Саянская горная область. Москва: Наука, 1969. С. 121–156.
3. Глобус А.М. *Физика неизотермического внутрпочвенного влагообмена*. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 278 с.
4. Кулик Н.Ф. Дистилляция почвенного раствора под действием температур и возможность его использования растениями // *Почвы и окружающая среда*. 2018. Том.1. №4. С. 277–283. <https://doi.org/10.31251/pos.v1i4.36>
5. Кулик Н.Ф. О возможности конденсации атмосферной влаги в почве // *Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева*. 2016. Вып. 83. С. 41–52. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-83-41-52>
6. Николаев В.А. *Рельеф* // *Новосибирская область, природа и природные ресурсы*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. С. 5–25.
7. Салихов Ш.К., Гасанов Г.Н., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р. *Ускоренный метод определения предельной полевой влагоемкости почв склоновых земель среднегорья Дагестана* // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10–14 сентября 2018 г.)* / Сысо А.И. (отв. ред.). Томск: Издательский Дом ТГУ, 2018. Ч. II. С. 266–269.

8. Труфляк Е.В. *Использование элементов точного сельского хозяйства в России*. Краснодар: КубГАУ, 2018. 26 с.
9. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. *Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования*. Рос. Акад. Наук, Сиб. отд-ние. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2009. 349 с.
10. Чичулин А.В. К методике применения датчика влажности EC-5 Decagon // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 5. Ч 2. С. 416–421. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12280>
11. Чудновский А.Ф., Тимофеев Ю.В., Шиндеров Б.Л. *Аэро-дистанционно-приземное зондирование сельскохозяйственных полей*. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
12. Шапорина Н.А., Чичулин А.В. *Вариабельность водно-физических свойств почв Предсалаирья // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10–14 сентября 2018 г.) / Сысо А.И. (отв. ред.)*. Томск: Издательский Дом ТГУ, 2018. С. 280–284.
13. Шапорина Н.А., Чичулин А.В., Чумбаев А.С. Пространственная вариабельность водно-физических свойств темно-серой лесной почвы в условиях Предсалаирья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. №10. С. 144–149. doi: 10.17513/mjpf.12433
14. Шапорина Н.А., Сайб Е.А. Вариабельность агрофизических показателей комплекса склоновых почв Предсалаирья // *Почвы и окружающая среда*. 2020. Том 3. № 2. e118. doi: 10.31251/pos.v3i2.118
15. Шапорина Н.А., Сайб Е.А. Латеральная изменчивость агрофизических показателей комплекса эродированных почв Предсалаирья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 11. С. 79–85. doi: 10.17513/mjpf.12936
16. *EC-5 Soil Moisture Sensor: Operator's Manual*. Decagon Devices, Inc., Pullman, 2014, 19 p.
17. Payero J.O., Nafchi A.M., Davis R., Khalilian A. An Arduino-Based Wireless Sensor Network for Soil Moisture Monitoring Using Decagon EC-5 Sensors, *Open Journal of Soil Science*, 2017, No. 7, p. 288–300. <https://doi.org/10.4236/ojss.2017.710021>
18. Payero J., Qiao X., Khalilian A., Mirzakhani-Nafchi A., Davis R. Evaluating the Effect of Soil Texture on the Response of Three Types of Sensors Used to Monitor Soil Water Status, *Journal of Water Resource and Protection*, 2017, No. 9, p. 566–577. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2017.96037>

Поступила в редакцию 28.10.2021

Принята 26.11.2021

Опубликована 16.12.2021

Сведения об авторах:

Шапорина Нина Аркадьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); shaporina@issa-siberia.ru

Сайб Екатерина Александровна – младший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); sajb@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

USING DECAGON EC-5 SENSORS FOR MONITORING SOIL MOISTURE

© 2021 N. A. Shaporina, E. A. Sayb 

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

The aim of the study. *To assess the possibilities of using the Decagon EC-5 sensor in research practice, especially under the conditions of its stationary installation; and to study with its help the dynamics of soil profile moistening and moisture migration under different weather conditions.*

Location and time of the study. *The study was carried out on the territory of the Ust-Kamensky (forest-steppe) research station of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (55.005507 N, 83.858635 E). The object of the study was the dark gray forest soil (Luvic Greyzem Phaeozem). Five Decagon EC-5 sensors were installed at 9, 13, 18, 22 and 27cm depths in a small (30cm deep) soil pit and connected to the Em50 recorder. The necessary calibration was carried out beforehand. The sensors functioned from June 13 to July 7, 2017.*

Main results. The study showed that this device is suitable for a wide range of applications. According to the sensor readings, it was possible to trace the migration of moisture within the soil profile, as well as to differentiate it into gravitational and capillary water, as well as to establish the fact of precipitation with an accuracy of an hour and to calculate the precipitated amount. Statistical analysis of the obtained data showed low values of data variance and the coefficient of variation, which indicated high data homogeneity. The use of these sensors can improve the traditional flood method for determining the maximum soil water holding capacity. Moreover, detailed recording of soil moisture, provided by Decagon EC-5 sensors, in combination with Thermochron sensors for soil temperature recording, allows to study quantitative indicators of thermal gradient moisture flux at a new level.

Conclusions. The study showed that Decagon EC-5 sensors comply with their technical specification and have good prospects for usage both in research and agricultural production. Provided its preliminary calibration and producing the calibration curves for the studied soils, the sensors allow quick and accurate measurement of the soil volumetric moisture content. The frequency and rate of sensor readings takes research on the dynamics and migration of moisture in soils to an entirely new level.

Key words: soil moisture; Decagon EC-5; maximum soil water holding capacity; dynamics and moisture migration.

How to cite: Shaporina N.A., Sayb E.A. Using Decagon EC-5 sensors for monitoring soil moisture // *The Journal of Soils and Environment*. 2021. 4(3). e153. doi: [10.31251/pos.v4i3.153](https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.153) (in Russian with an English abstract).

REFERENCES

1. Vdovin V.V. *Kuznetsk-Salair province*. In book: Relief of the Altai-Sayan region. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1976, p. 40-71. (in Russian)
2. Vdovin V.V., Maloletko A.M. *Salair ridge*. In book: Altai-Sayan mountain region. Moscow: Nauka Publ., 1969. p. 121-156. (in Russian)
3. Globus A.M. *Physics of non-isothermal soil moisture transfer*. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1983, 278 p. (in Russian)
4. Kulik N.F. Soil solution distillation by temperature and the possibility of vapour use by plants, *The Journal of Soils and Environment*, 2018, Vol. 1, No. 4, pp. 277–283. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v1i4.36>
5. Kulik N.F. On the ability of atmospheric vaporous water to condensate within the soil on the background of thermal balance and experimental materials, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016. Vol. 83, pp. 41–51. (in Russian) <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-83-41-52>
6. Nikolaev V.A. *Relief*. In book: Novosibirsk region, nature and natural resources. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1978, p. 5-25. (in Russian)
7. Salikhov Sh.K., Gasanov G.N., Gadzhiev K.M., Bashirov R.R. *Accelerated method of definition for determining water capacity of soils sloping lands medium Dagestan*. In book: Soils in the Biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10–14 September, 2018). Syso A.I. (ed.). Tomsk: Publishing House of TGU, 2018, Part II, p. 266–269 (in Russian)
8. Truflyak E.V. *Using elements of precision agriculture in Russia*. Krasnodar: KubGAU publ, 2018, 26 p. (in Russian)
9. Khmelev V.A., Tanasienko A.A. *Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use*. Novosibirsk, SB RAS publ., 2009, 349 p. (in Russian)
10. Chichulin A.V. The method of application of the moisture sensor EC-5 Decagon, *International Journal of Applied and Basic Research*, 2018, No. 5, part 2. pp. 416–421. (in Russian) <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12280>
11. Chudnovskij A.F., Timofeev Yu.V., Shinderov B.L. *Aero and near the ground remote sounding of agricultural fields*. Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1985, 272 p. (in Russian)
12. Shaporina N.A., Chichulin A.V. *Variability of water-physical soil properties Pedaleira*. In book: Soils in the Biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September, 2018). Syso A.I. (ed.). Tomsk: Publishing House of TGU, 2018, Part II, p. 280–284. (in Russian)
13. Shaporina N.A., Chichulin A.V., Chumbaev A.S. Spatial variability of water-physical properties of dark gray forest soil in the conditions Pedaleira, *International Journal of Applied and Basic Research*, 2018, No.10, p. 144–149. (in Russian) doi: 10.17513/mjpf.12433
14. Shaporina N.A., Sayb E.A. Variability of agrophysical properties of hillslope soils in the Cis-Salair region (West Siberia), *The Journal of Soils and Environment*, 2020, Vol.3, No 2, e118. (in Russian) doi: 10.31251/pos.v3i2.118
15. Shaporina N.A., Sayb E.A. The lateral variability of agrophysical indicators of the complex of eroded soils of the cis-Salair region, *International Journal of Applied and Basic Research*, 2019, No.10, p. 79–85. (in Russian) [10.17513/mjpf.12936](https://doi.org/10.17513/mjpf.12936)
16. *EC-5 Soil Moisture Sensor: Operator's Manual*. Decagon Devices, Inc., Pullman, 2014, 19 p. (in English)

17. Payero J.O., Nafchi A.M., Davis R., Khalilian A. An Arduino-Based Wireless Sensor Network for Soil Moisture Monitoring Using Decagon EC-5 Sensors, *Open Journal of Soil Science*, 2017, No. 7, p. 288–300. (in English) <https://doi.org/10.4236/ojss.2017.710021>
18. Payero J., Qiao X., Khalilian A., Mirzakhani-Nafchi A., Davis R. Evaluating the Effect of Soil Texture on the Response of Three Types of Sensors Used to Monitor Soil Water Status, *Journal of Water Resource and Protection*, 2017, No. 9, p. 566–577. (in English) <https://doi.org/10.4236/jwarp.2017.96037>

Received 28 October 2021
Accepted 26 November 2021
Published 16 December 2021

About the author(s):

Shaporina Nina A. – Cand. Biol. Sci., Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); shaporina@issa-siberia.ru

Sayb Ekaterina A. – Junior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); sajb@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



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



ВОПРОСЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ БИОТЕСТА С ПРИМЕНЕНИЕМ БАКТЕРИЙ РОДА AZOTOBACTER

© 2021 А. А. Данилова ¹, А. А. Петров ²

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

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

Цель исследования: Бактерии рода *Azotobacter* являются известной тест-культурой для оценки состояния среды. При интерпретации результатов биотеста возникает противоречие между общепринятым положением, что обилие азотобактера свидетельствует о благополучии среды, и экспериментальными данными, обнаруживающими большое число КОЕ этих бактерий в объектах с явно неблагоприятными характеристиками. Цель работы – обсудить возможную причину возникновения данной проблемы и предложить один из путей к её решению.

Объекты исследования. Чернозём выщелоченный (лесостепь Приобья, 54°53'13,5"N и 82°59'36,7"E) с различным содержанием органического вещества и минерального азота вследствие различного агроиспользования: 1) бессменный пар, 2) выращивание пшеницы, ежегодное удаление соломы с поля + чистый пар, 3) пшеница + оставленная солома + чистый пар, 4) пшеница + оставленная солома + сидеральный пар, 5) многолетняя залежь. Грунты многолетних (30 лет) отвалов после добычи угля на территории ГОК «Денисовский» в Южной Якутии (56°46'20,23"N и 124°51'06,95"E), остающиеся без растений и под растительностью с содержанием общего углерода 1,8 и 5,7%, общего азота – 0,3 и 0,4% соответственно.

Методология. В работе в качестве критерия нарушенности почвы применили отношение C:N, вычисленное на основе определения содержания углерода в мортмассе и нитратного азота. Азотобактер выделяли на среде Эшби методом почвенных комочков. Идентификацию видов проводили с помощью амплификации гена 16S rPHK с универсальными праймерами 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') и U1492R (5'-GGTACCTGTACGACTT-3'). В качестве экспериментального стресса в почву вносили глюкозу в дозе 10 мг/г. Для оценки выживаемости *Azotobacter* в почву вносили (примерно 1 млн клеток/10 г) суспензию семисуточной культуры бактерий, выделенных из исследуемой почвы. Плотность микробного населения почвы оценивали по микробным пейзажам на стеклах обрастания, инкубированных в почвенных монолитах в течение 60 дней при оптимальных гидротермических условиях.

Основные результаты. Активизация роста азотобактера при внесении глюкозы (отклик на стресс) была более выраженной в более нарушенных почвах в сравнении с менее нарушенными и была обратно пропорциональной отношению C:N, вычисленному как отношение содержания углерода в мортмассе и азота нитратного. Интенсивность роста внесённой живой культуры азотобактера была выше также в более нарушенных почвах, что коррелировало с плотностью микробного населения. То есть обилие азотобактера не может быть однозначным свидетельством благополучия почвы.

Заключение. Причина возникновения противоречия при интерпретации результатов биотеста на основе азотобактера связана с недооценкой того факта, что первоначально показатель был предложен для индикации плодородия пахотных (нарушенных) почв. Для универсализации биотеста предложено дополнить традиционное определение числа обрастаний почвенных комочков процедурой, оценивающей отклик показателей роста азотобактера на экспериментальный стресс.

Ключевые слова: *Azotobacter*; индикация среды; экспериментальный стресс, чернозем выщелоченный, техногенные отвалы в криолитозоне, микробные пейзажи

Цитирование: Данилова А.А., Петров А.А. Вопросы интерпретации результатов биотеста с применением бактерий рода *Azotobacter* // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 3. e154. doi: 10.31251/pos.v4i3.154

ВВЕДЕНИЕ

В условиях драматического антропогенного изменения окружающей среды совершенствование методов биотестирования состояния почвы остается актуальной проблемой

экологии. Известной тест-культурой для этих целей являются бактерии р. *Azotobacter*. Интерес исследователей к роду *Azotobacter* не ослабевает с момента их обнаружения в 1901 г. В XXI веке эти бактерии становятся объектом исследований в области биотехнологии – широкий спектр уникальных соединений, синтезируемых ими, используют в самых разных областях науки и технологий (Viscardi et al., 2016; Noar, Bruno-Barcelona, 2018; Kour et al., 2020). Простая техника выделения, характерная морфология клеток позволили использовать азотобактер в качестве удобного индикатора для оценки состояния среды. Исходным положением в интерпретации результатов биотеста было утверждение, что чем выше заселенность почвы азотобактером, тем плодороднее почва (Мишустин, Шильникова, 1968), то есть обилие этих бактерий оценивалось как положительное агрономическое свойство почвы. В последующем этот показатель стали применять в экологических оценках и обилие азотобактера считают положительным свойством почвы (Свистова, Истомина, 2019; Скугорева и др., 2012, 2019). Между тем многие авторы отмечали большое число этих бактерий в почвах и почвоподобных субстратах с явно неблагоприятными свойствами (Феоктистова, 2019; Феоктистова и др., 2011; Артамонова, Бортникова, 2018). Возникло определенное противоречие. Осознание ситуации привело экологов к введению дополнительных критериев для оценки состояния азотобактера в биотесте: размеры образований, их пигментация и морфология (Артамонова, Бортникова, 2016, 2018). Цель работы: обсудить возможную причину возникновения данной проблемы и предложить один из путей к её решению.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе в качестве критерия степени нарушенности почвы приняли отношение C:N, вычисленное на основе определения содержания углерода в мортмассе и нитратного азота (N-NO₃), поскольку C:N, традиционно рассчитанное по органическому углероду (C_{орг}) и общему азоту (N_{общ}), оказалось малоинформативным.

Объект 1. Многолетний опыт в Новосибирском Приобье (54°53'13,5"N и 82°59'36,7"E"). Почва чернозём выщелоченный среднегумусный, среднесуглинистый. Различное содержание в нём органического вещества (мг С мортмассы/кг) и нитратного азота (мг N-NO₃/кг) являлось следствием разного предшествующего сельскохозяйственного использования почвы:

1. Бессменный пар (300 мг С/ кг, 50–60 мг N-NO₃/кг);
2. Выращивание пшеницы с ежегодным удалением соломы с поля + чистый пар (440, 15–10);
3. То же с оставлением соломы + чистый пар (690, 15–10);
4. То же с оставлением соломы + сидеральный пар (1040, 0–5);
5. Многолетняя залежь возрастом не менее 30 лет (2500, 0).

Опыт подробно описан ранее (Данилова, 2018).

Объект 2. Образцы грунтов с многолетних (30 лет) отвалов после добычи каменного угля на территории ГОК «Денисовский» в Южной Якутии (56°46'20,23"N и 124°51'06,95"E):

Отвал 1. Поверхность занята растительностью. Субстрат определен как молодая почва с четко оформленным органогенным горизонтом. По классификации (Андроханов и др., 2004) – эмбриозём органо-аккумулятивный. Содержание C_{орг} 5,7%, N_{общ} 0,30%, pH 5,5.

Отвал 2. Поверхность без растительного покрова. Субстрат – элювиозём инициальный. Содержание C_{орг} 1,8%, N_{общ} 0,42%, pH 6,3. Содержание тяжёлых металлов (изучен список из 9 элементов) в субстратах было ниже уровня ПДК, но абсолютная величина некоторых из них в элювиозёме превышала показатели эмбриозёма. Так, содержание Pb превышало в 3 раза, Zn – в 7 раз, Co – в 2 раза, Cu – в 2 раза, Mn – в 2,4 раза.

Azotobacter учитывали стандартным методом комочков на среде Эшби (Методы..., 1980). В лабораторном опыте для активизации *Azotobacter* в почву вносили глюкозу (10 мг/г), инкубировали образцы 7 дней при влажности 60% от ППВ и температуре 25 °С, далее производили учёт по стандартной схеме. Для оценки выживаемости *Azotobacter* в почву вносили (1 млн клеток/10 г) суспензию 7-суточной культуры бактерий, выделенных из исследуемой почвы. Образцы инкубировали 7 дней, далее производили учёт по стандартной схеме.

Идентификацию азотобактера до вида проводили с помощью амплификации гена 16S рРНК с универсальными праймерами 27F (5'-AGAGTTTGTATCMTGGCTCAG-3') и U1492R (5'-GGTTACSTTGTTCAGACTT-3'). Полученный ПЦР-продукт очищали и определяли нуклеотидную последовательность секвенированием по Сэнгеру. Результаты анализировали с использованием сервиса BLAST (NCBI сайт: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>).

Процедура фиксации микробного пейзажа почвы: в монолиты с ненарушенным сложением вставляли обезжиренные предметные стёкла, почву инкубировали 60 дней при влажности 60% от ППВ и температуре 23 °С. Отпечатки красили карболовым эритрозином (5%). Просматривали по 50 полей зрения на одном стекле, на каждом варианте изучали по 3 стекла. Фотографии выполнены при помощи микроскопа Primo Star Zeiss с видеокамерой Axiocam105 color.

Повторность опытов 3-кратная. Статистическая обработка данных проведена по стандартной схеме дисперсионного анализа в пакете программ Stat Soft Statistica 10 for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Судя по отношению C:N, вычисленному на основе определения содержания углерода в мортмассе и нитратного азота, наиболее нарушенной является почва бессменного пара (рис.1, вар.1), где длительное отсутствие поступления растительных остатков и выноса азота привели к снижению содержания почвенного органического вещества (ПОВ) и накоплению нитратного азота. Варианты 2–4 представляли собой ряд постепенного увеличения содержания ПОВ при агротехническом регулировании количества поступающих пожнивных остатков. Вариант 5 является аналогом целиной равновесной почвы. Как известно, в целинных почвах нитратный азот не обнаруживается. Появление его является признаком дисбаланса в метаболизме вещества в почве.

Все изученные культуры бактерий были отнесены к виду *Azotobacter chroococcum*. Обрастание комочков в указанном ряду вариантов составило: 0–80–40–0–0% (рис. 1). После внесения глюкозы в почву показатель составил ряд: бессменный пар – 100%, пахотные почвы (варианты 2, 3) – 80–100%, залежь – 0%. При этом динамика обрастания комочков имела тесную связь с отношением C:N. При повышении этого отношения в изученном ряду вариантов снижался отклик показателя (обрастание комочков) на стресс (внесение глюкозы).

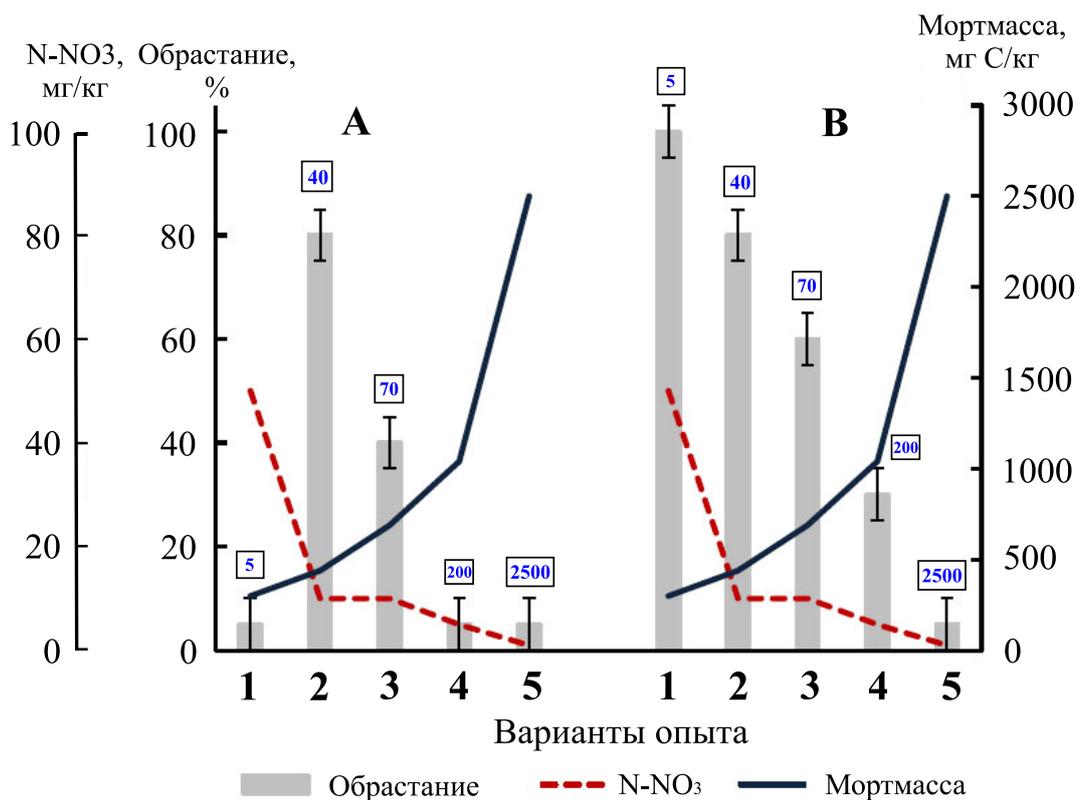


Рисунок 1. Содержание органического вещества в почве и процент обрастания комочков на среде Эшби. Варианты опыта: 1 – бессменный пар, 2 – удаление соломы с поля + чистый пар, 3 – оставление соломы на поле + чистый пар, 4 – оставление соломы на поле + сидеральный пар, 5 – многолетняя залежь. А – исходная почва, В – после внесения 10 мг/г глюкозы. Вертикальный отрезок показывает доверительный интервал при P05. В квадратах над столбцами приведено отношение C:N, вычисленное на основе определения содержания углерода в мортмассе и нитратного азота.

При внесении живых культур *Azotobacter* через 24 ч после посева в почве из-под пара обросло 100% комочков, в почве из-под залежи появились только зачатки в виде мелких единичных колоний (рис. 2).

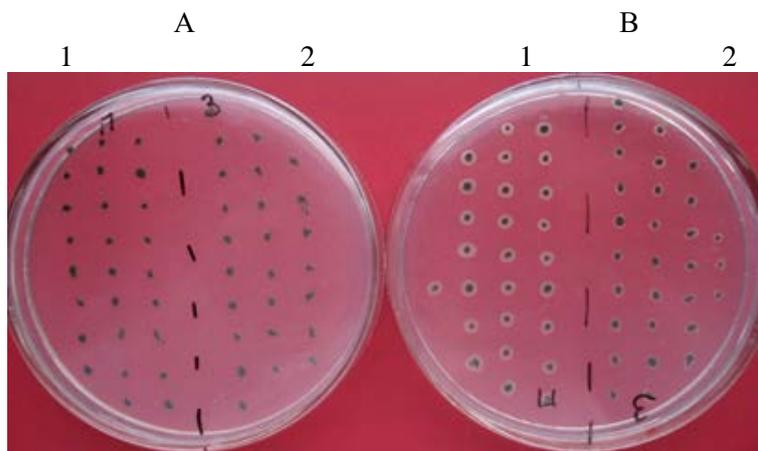


Рисунок 2. Обрастание комочков в лабораторном опыте (внесение живой культуры *Azotobacter*). А – контроль без внесения культуры, В – опыт с внесением культуры; 1 – бессменный пар, 2 – многолетняя залежь.

В первом варианте обрастания были равномерными по всей границе комочков, что свидетельствует об отсутствии факторов, препятствующих размножению клеток культуры (рис. 3). Во втором – появились единичные колонии, которые за последующие сутки дали обрастания, но ширина их уступала показателям почвы из-под пара примерно в 2,5 раза (1333+50 и 533+30 мкм соответственно). Следовательно, на фоне залежи существовали факторы, подавляющие, по крайней мере, начальный рост внесённой живой культуры *Azotobacter*. Наиболее вероятной причиной последнего являлась конкуренция со стороны аборигенной микробиоты почвы. Как известно, более высокая плотность микробного населения почвы на целине в сравнении с паром обусловлена прежде всего обилием грибов, что в свою очередь связано с накоплением растительных остатков разной степени разложения (Gueneta et al., 2011; Habtewold et al., 2020). В контексте нашего исследования при изучении микробных пейзажей нам удалось визуально оценить обилие и соотношение компонентов микробиоты в почве многолетнего бессменного пара и многолетней залежи.

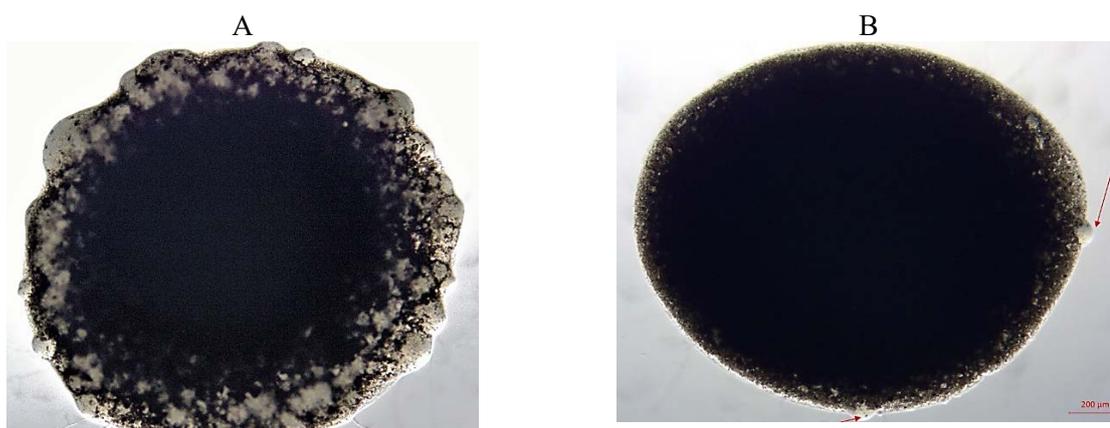


Рисунок 3. Характер обрастаний комочков почвы через 24 ч после посева (x40). А – бессменный пар, В – многолетняя залежь.

На рисунке 4 представлены типичные поля зрения из 150 изученных на каждом варианте. На фоне пара обычно отмечали редкие колонии и россыпи клеток бактерий, гиф грибов было мало. На залежи все поля зрения были покрыты слоем грибных гиф, около которых обнаруживали много

клеток бактерий (рис. 4, A1, B1). Принципиальное различие пейзажей заключалось в следующем: в парующей почве клетки бактерий и гифы грибов практически не контактировали, тогда как в залежной – закономерностью было развитие бактерий на гифах и в пространстве около них, то есть наблюдали формирование микобактериальных сообществ (рис. 4, A2, B2). Эти особенности были тесно связаны с состоянием ПОВ (рис.4, A3, B3): на пару диспергированное высокой степени конденсированное, на залежи обогащенное слаборазложившейся биомассой.

В отвальных субстратах скорость появления обрастаний была существенно ниже, чем в чернозёме: через 21 день после посева вокруг 100% комочков на обоих вариантах появились визуально отличимые мелкие обрастания шириной 1-2 мм. Микроскопическая картина и результаты амплификации гена 16S рРНК подтвердили, что это действительно колонии азотобактера. После внесения глюкозы наблюдали активизацию роста бактерий – обрастания появились через 7 дней после посева. На элювиозёме диаметр около 10 мм имели 100% обрастаний, эмбриозёме – 24%. Внесённая культура азотобактера одинаково хорошо развивалась на обоих вариантах. Таким образом, в субстрате, не занятом в течении 30 лет растительностью, активизация клеток азотобактера при поступлении глюкозы происходила более интенсивно в сравнении с молодой почвой под хорошо развитой растительностью.

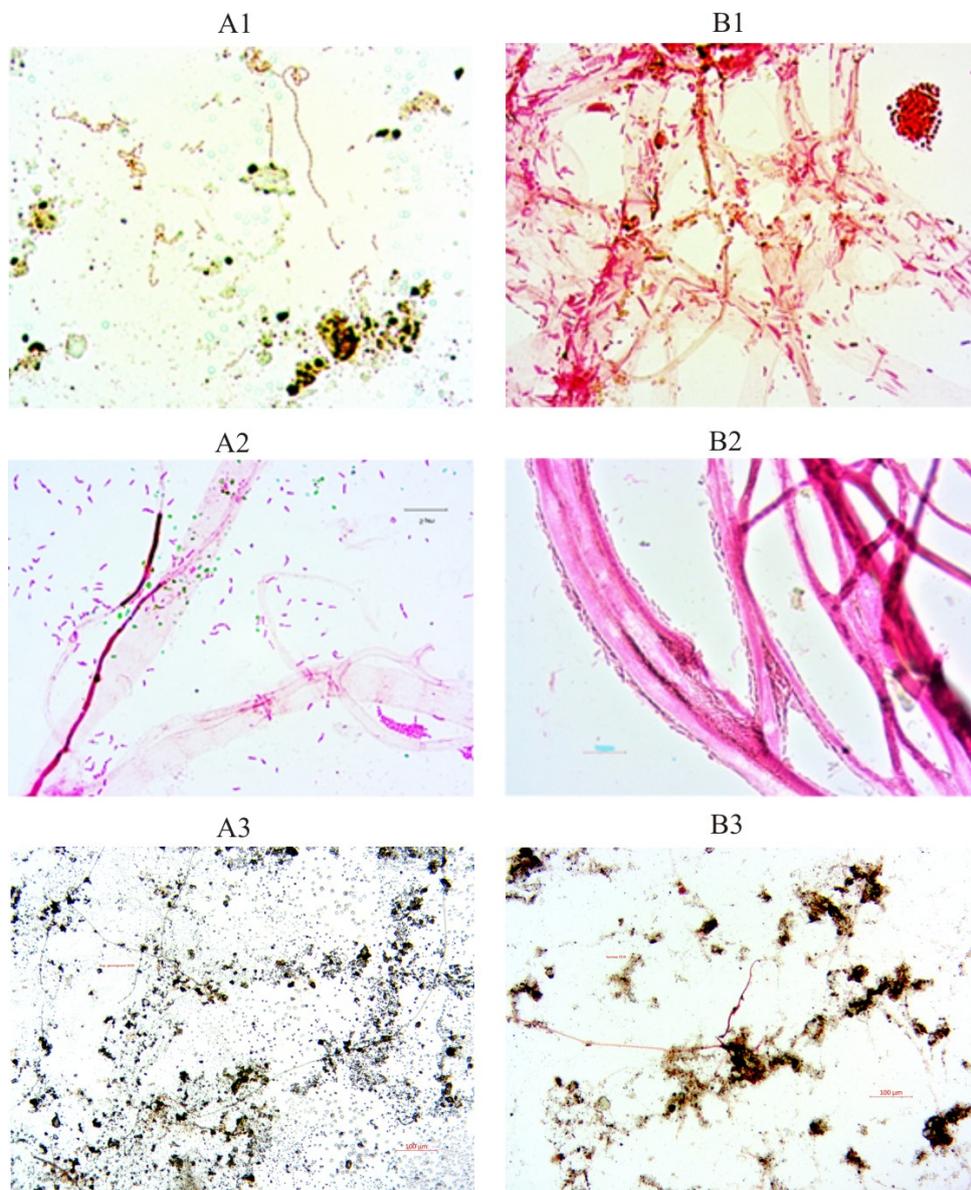


Рисунок 4. Микробный пейзаж и состояние ПОВ (A3, B3) чернозёма выщелоченного под бессменным паром (А) и залежью (В). A1–2, B1–2: x1000, эритрозин карболовый, масляная иммерсия; A3, B3 – x100, сухой объектив

ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимо отметить, что обычно признаком ухудшения состояния среды считают отрицательную динамику числа или скорости роста азотобактера (Мишустин, Шильникова, 1968; Свистова, Истомина, 2019 и др.). Как известно, азотобактер, как и любой другой микроорганизм, является одним из компонентов чрезвычайно сложной живой системы почвы. Изменение его численности в определенной мере является индикатором степени конкурентности в этой системе. То есть, изменение числа азотобактера, как и любой другой группы микроорганизмов, при изменении условий среды возможно как в сторону увеличения (вследствие снижения активности конкурирующих организмов), так и в сторону понижения (повышение активности конкурентов). По нашим данным, такое колебание числа азотобактера можно уловить при экспериментальном стрессе на почву. Даже в сильно истощенной почве длительного бессменного пара сохраняются жизнеспособные клетки азотобактера, которые легко активируются при поступлении доступного источника питания. На многолетней залежи видимо подобных клеток немного из-за специфики условий для развития. Одно из них – конкурентная среда обитания. В климаксовой экосистеме, к какой можно отнести многолетнюю залежь, доступных источников питания практически не бывает, все экологические ниши заняты специализированными сообществами, что мы и наблюдали визуально на микробных пейзажах почвы. Продукты метаболизма грибов, концентрированные около гиф, дают возможность размножению бактерий. Именно растущие гифы грибов доставляют питательные ресурсы к практически неподвижным клеткам бактерий (Wu et al., 2012; Pandit et al., 2020; Habbewold et al., 2020). Понятно, что эти сообщества хорошо «подогнаны» друг к другу и это осложняет внедрение «чужих». На пару, где плотность микробного населения относительно низкая, кроме того, систематическая вспашка нарушает формирующиеся зачатки сообществ, свободных ниш очевидно много, их и занимает азотобактер. Отсюда следует, что обилие азотобактера никак не может быть однозначным свидетельством экологического благополучия почвенной среды (высокое биоразнообразие, сбалансированность круговорота вещества, вследствие чего устойчивость к стрессам). Равно и низкое число обрастаний не может указывать на обратное. Факты низкого значения показателя в целинных почвах известны давно (Мишустин, Шильникова, 1968). Исследования на техногенных отвалах позволили подтвердить наши предположения. На наш взгляд, при применении азотобактера в качестве критерия для оценки степени благополучия среды произошло некоторое смешение понятий. В исходных рекомендациях предлагали азотобактер как тест для оценки уровня плодородия почвы. Пахотная почва – это пример экосистемы, глубоко нарушенной для целей производства продукции. С экологической точки зрения обилие азотобактера в пахотной почве показывало степень нарушения равновесия в микробной системе почвы, в результате чего преимущество в конкуренции за источники питания получают культурные растения (эффективное плодородие почвы). Со временем этот показатель стали применять в качестве критерия оценок для других экосистем без изменения позиции при интерпретации результатов.

Какой же выход из ситуации? Как следует из анализа литературы, интерпретация результатов биотеста с позиции «больше/меньше» не совсем эффективна. На наш взгляд, достаточно продуктивным может быть учёт отклика показателей на тот или иной экспериментальный стресс. Ранее данный подход нам позволил разработать информативные инструменты для решения прикладных экологических задач. В качестве критериев мы применяли отклик функциональной активности сапротрофной микробиоты (Данилова и др., 2019), скорости дыхания (Данилова, 2020). В качестве стрессоров использовали пестицид, тяжёлый металл, поступление растительных остатков или наоборот экспериментальное истощение почвы. Оказалось, что величина отклика живой фазы на стресс обратно пропорциональна степени антропогенной нагрузки, испытываемой почвой. Показатель этот позволил разработать шкалу устойчивости живой фазы почвы, на основе которой удалось обосновать нормирование пестицидной нагрузки на агроценоз, провести оценку эффективности рекультивационных мероприятий в техногенных ландшафтах. На наш взгляд, такой же подход можно применить и при биотесте на основе азотобактера. Как показывает изложенный выше материал, при первом приближении отклик (активизация роста) азотобактера на стресс (внесение глюкозы) коррелировал со степенью нарушения почвы. Тесная связь величины отклика с соотношением C:N, вычисленном на основе определения содержания углерода в мортмассе и азота нитратного, на наш взгляд, является еще одним свидетельством обоснованности нашего методического подхода. При практической реализации идеи задача будет состоять в калибровке отклика на

стресс. Основная сложность заключается в выборе критерия для оценки ростовых процессов азотобактера. Вероятно, для этих целей обычный учёт числа обрастания комочков будет недостаточно чувствительным, а расчёт площади обрастания каждого комочка – слишком трудоёмким. Работа в этом направлении продолжается.

В качестве заключительного замечания к обсуждению представленного материала считаем необходимым отметить следующее. При знакомстве с литературой, связанной с изложенной выше проблемой, на первый взгляд может возникнуть сомнение в ее актуальности. Действительно, при поиске в базе данных WoS по ключевому слову *Azotobacter* из 5900 записей 67% связаны с молекулярной биологией и биотехнологией, с почвоведением всего – 4,3% (время обращения 10.12.2021). Биотестированием на основе этих бактерий занимаются преимущественно в РФ. Тем не менее, считаем, что актуальность нашего исследования связана со следующими моментами:

1. Поиск «диких» штаммов азотобактера для биотехнологических целей продолжается. При выделении культур из специфических биотопов может оказаться весьма полезным изложенный в статье методический подход – внесение в почву глюкозы. Отметим, что при помощи такого подхода нам удалось выделить весьма перспективный в биотехнологическом плане штамм *Azotobacter chroococcum* из незарастающих в течение 30 лет отвалов после разработки кимберлитовой трубки «Айхал» в Западной Якутии (неопубликованные данные).

2. Данный подход может оказаться дополнительным, доступным критерием для оценки степени устойчивости микробной системы почвы. Как известно, амплитуда изменения той или иной характеристики под влиянием стресса является критерием устойчивости экосистемы (Одум, 1967).

3. Еще один важный момент – образовательный. Непатогенный, относительно легко выделяемый из почвы азотобактер является удачным объектом для освоения навыков работы с микроорганизмами, о чем, в частности, свидетельствует опыт реализации научно-образовательного проекта для школьников «Охотники за микробами», инициированного ИХБФМ СО РАН (<https://microbehunters.ru/>). Изложенный выше материал может служить дополнительным методическим материалом для этих целей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеющиеся противоречия в интерпретации данных при использовании азотобактера в качестве индикатора состояния почвы связаны с недооценкой факта, что первоначально показатель был предложен для индикации плодородия пахотных почв. Как известно, последние относятся к разряду нарушенных, где остаются экологические ниши для размножения того, же азотобактера, слабого конкурента автохтонной микрофлоры в целинной почве. Иными словами, проблема связана с различием критериев для оценки «хорошо» или «плохо» с точки зрения производительных и экологических функций почвы. Для разрешения проблемы предлагаем оценивать изменение обилия или скорости роста азотобактера при экспериментальном стрессе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность Ворониной Е.Н., к.б.н., старшему научному сотруднику Института химической биологии и экспериментальной медицины (ИХБФМ) СО РАН за идентификацию бактерий рода *Azotobacter*.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. *Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция*. Новосибирск: Наука, 2004. 151 с.

2. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Биогенное почвообразование на территории длительного хранения насыпных отвалов сульфидсодержащих отходов цианирования // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2018. № 4. С. 9–12.
3. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. О развитии *Azotobacter chroococcum* Beijerinck в старовозрастных отвалах антрацита // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018. № 1. С. 60–72.
4. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. О состоянии почвенных азотфиксирующих бактерий на территории городского леса // *Вестник Пермского университета*. 2016. Вып. 2. С. 150–159.
5. Данилова А.А. *Биодинамика пахотной почвы при различном содержании органического вещества*. Новосибирск: Изд-во СФНЦА РАН, 2018. 156 с.
6. Данилова А.А. Дыхательный отклик живой фазы на стресс как критерий оценки состояния почвы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020. Т. 50. № 5. С. 87–93. DOI: [10.26898/0370-8799-2020-5-10](https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-5-10)
7. Данилова А.А., Легостаева Я.Б., Сивцева Н.Е., Петров А.А. Способ оценки устойчивости сапротрофного микробного сообщества почвы методом мультисубстратного теста // *Патент № 2678876*. 2019. Бюл. № 3.
8. *Методы почвенной микробиологии и биохимии*. М.: Изд-во МГУ, 1980. 223 с.
9. Мишустин Е.Н., Шильникова В.К. *Биологическая фиксация атмосферного азота*. М.: Наука, 1968. 530 с.
10. Одум Ю. *Основы экологии*. М.: Мир, 1975. 736 с.
11. Свистова И.Д., Истомина Е.И. *Азотфиксирующая активность урбопочв на примере различных категорий урбаноземов г. Воронежа* // Биогеохимия - научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека: труды XI Междунар. биогеохимической школы (Тула, 13-15 июня 2019 г.). Тула: Изд-во ТГПУ им. Л.Н. Толстого, 2019. С. 183–185.
12. Скугорева С.Г., Адамович Т.А., Олькова А.С., Домрачева Л.И., Домнина Е.А., Злобин С.С., Измestьева А.В., Ашихмина Т.Я. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке состояния природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // *Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*. 2012. № 3. С. 30–37.
13. Скугорева С.Г., Кутявина Т.И., Огородникова С.Ю., Кондакова Л.В., Симакова В.С., Блинова А.Л., Зыкова Ю.Н., Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. № 3. С. 57–65. DOI: [10.25750/1995-4301-2019-3-057-065](https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-057-065)
14. Феоктистова И.Д. *Оценка состояния почв г. Владимира по наличию азотобактера и санитарному числу* // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие» (Санкт-Петербург, 24–28 февраля 2019 г.). Санкт-Петербург: Изд-во ГНИИ «Нацразвитие», 2019. С. 87–90.
15. Феоктистова И.Д., Сахно О.Н., Журавлева А.Г. Оценка экологического состояния почв урбанизированных территорий, загрязненных нефтепродуктами // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13. № 1 (5). С. 1233–1235.
16. Gueneta B., Juarez S., Bardoux G., Pouteau V., Cheviron N., Marraud C., Abbadie L., Chenu C. Metabolic capacities of microorganisms from a long-term bare fallow // *Applied Soil Ecology*. 2011. V. 51. p. 87–93. DOI: [10.1016/j.apsoil.2011.07.006](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.07.006)
17. Habtewold J.Z., Helgason B.L., Yanni S.F., Janzen H.H., Ellert B.H., Gregorich E.G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities // *European Journal of Soil Biology*. 2020. V. 98. p. 2–9. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2020.103190](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103190)
18. Kour D., Rana K.L., Yadav A.N., Yadav N., Kumar M., Kumar V., Vyas P., Dhaliwal H.S., A.K. Saxena Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. V. 23. 101487. DOI: [10.1016/j.bcab.2019.101487](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487)
19. Noar J., Bruno-Barcena J. *Azotobacter vinelandii*: the source of 100 years of discoveries and many more to come // *Microbiology*. 2018. V. 164. p. 421–436. DOI: [10.1099/mic.0.0006](https://doi.org/10.1099/mic.0.0006)
20. Pandit A., Adholeya A., Cahill D., Brau L., Kochar M. Microbial biofilms in nature: unlocking their potential for agricultural applications // *Journal of Applied Microbiology*. 2020. V. 129. p. 199–211. DOI: [10.1111/jam.14609](https://doi.org/10.1111/jam.14609)
21. Viscardi S., Ventrino V., Duran P., Maggio A., De Pascale S., Mora M.L., Pepe O. Assessment of plant growth promoting activities and abiotic stress tolerance of *Azotobacter chroococcum* strains for a potential use in sustainable agriculture // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2016. V. 16 (3). p. 848–863. DOI: [10.4067/S0718-95162016005000060](https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000060)
22. Wu Y., Kemmitt S., White R.P., Jianming Xu J., Brookes P.C. Carbon dynamics in a 60 year fallowed loamy-sand soil compared to that in a 60 year permanent arable or permanent grassland UK soil // *Plant Soil*. 2012. V. 352. p. 51–63. DOI: [10.1007/s11104-011-0979-4](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0979-4)

Поступила в редакцию 01.11.2021

Принята 11.12.2021

Опубликована 16.12.2021

Сведения об авторах:

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

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

SOIL BIOTEST RESULTS USING AZOTOBACTER BACTERIA: INTERPRETATION PROBLEMS AND POSSIBLE SOLUTIONS

© 2021 A. A. Danilova ¹, A. A. Petrov ²

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the RAS, Krasnoobsk, Novosibirskaya oblast, Russia, E-mail: Danilova7alb@yandex.ru

²North-Eastern Federal University, Institute of Applied Ecology of the North, Yakutsk, Russia, E-mail: Petrov_Alexey@mail.ru

The aim of the study. *The Azotobacter genus is a well-known bioassay for testing the soil environment quality. A large number of these bacteria is considered as evidence of the ecological well-being of a soil. However, a high number of these microorganisms was found in disturbed ecosystems, which means there is a problem of how to interpret the results of the biotest. Therefore the aim of the study was to clarify the causes of this problem and suggest a possible way to solve it.*

Location and objects of the study. *The study was conducted in West Siberia (Russia) in the Priobskoe plateau (54°53'13.5"N, 82°59'36.7"E). Leached chernozem with different content of organic matter (mortmass) was studied under the following treatments: 1) permanent fallow, 2) wheat cultivation, annual removal of straw from the field + summer fallow, 3) wheat + left straw + summer fallow, 4) wheat +left straw + green manure fallow, 5) grassland. The content of N-NO₃, respectively, was equal to 50, 10, 15, 5, 0 mg/kg. Another object was a site at the mining and processing plant "Denisovsky" in South Yakutia (Russia) (56°46'20.23"N, 124°51'06.95"E). Abandoned for a long time (30 years) after coal mining spoils were studied in two variants: without plants and with well-developed vegetation cover. Total SOC content was 1.8 and 5.7%, N – 0.3 and 0.4 %, respectively.*

Methodology. *The direct sowing of single soil aggregates onto the N-free medium containing glucose as C-source was used to cultivate Azotobacter. Glucose (10 mg/g soil) was added to the soil to activate Azotobacter growth. A live culture of bacteria was introduced into the soil at a dose of 1 ml/g to check the viability of Azotobacter in experimental soils.*

Main results. *The status of the microbial community in situ was observed on microbial landscapes obtained by exposing slides in the undisturbed soil for 30 days. The overgrowth of soil lumps in the specified range of options was 0–80–40–0–0% and after glucose addition – 100–80–80–0%. The activation of Azotobacter growth after glucose addition was inversely proportional to the C: N ratio (between the mortmass and the mineral nitrogen). Live Azotobacter culture under grassland developed 2.5 times slower in comparison with the fallow. Similar patterns were found in the study of the soils developed on the coal mining spoils. Activation of Azotobacter growth by glucose (response to stress) was more pronounced in soils with apparently less favorable environment for bacteria.*

Conclusion. *The reason behind misleading interpretation of Azotobacter biotest results was that the original purpose of the test was to assess fertility of arable soils. This role of the indicator bacterium was previously underestimated. It is known that the arable soil belongs to the category of disturbed ones, and the abundance of Azotobacter may indicate instability in the microbial community of the soil. To expand the capabilities of the biotest, the authors propose to supplement the test with a procedure for evaluating the Azotobacter growth response to experimental stress, e.g. C-substrate addition.*

Key words: *Azotobacter; environment assessment; experimental stress; leached chernozem; coal mining spoils; cryolithozone; microbial landscape*

How to cite: Danilova A.A., Petrov A.A. Soil biotest results using *Azotobacter* bacteria: interpretation problems and possible solutions // *The Journal of Soils and Environment*. 2021. 4(3). e154. doi: [10.31251/pos.v4i3.154](https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.154) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Androkhonov V.A., Kulyapina E.D., Kurachev V.M. *Soils of technogenic landscapes: genesis and evolution*. Novosibirsk: Nauka Publ., 2004, 151 p. (in Russian)
2. Artamonova V.S., Bortnikova S.B. Biogenic soil formation in the territory of a long-term storage of sulfide wastes of gold cyanidation, *Anthropogenic Transformation of Environment*, 2018, No. 4, p. 9–12. (in Russian)
3. Artamonova V.S., Bortnikova S.B. About the development of *Azotobacter chroococcum* Beijerinck in old-age dumps of anthracite, *Theoretical and applied ecology*, 2018, No. 1, p. 60–72. (in Russian)
4. Artamonova V.S., Bortnikova S.B. The status of nitrogen-fixing bacteria in soils of urban forest, *Bulletin of Perm University*, 2016, Vol. 2, p. 150–159. (in Russian)
5. Danilova A.A. *Biodynamics of agricultural soil at various content of organic substance*. Novosibirsk: SFNTsA RAN Publ., 2018, 156 p. (in Russian)
6. Danilova A.A. Respiratory response of living phase to stress as a criterion for assessment of soil condition, *Siberian herald of agricultural science*, 2020, Vol. 50, No. 5, p. 87–93. (in Russian) DOI: [10.26898/0370-8799-2020-5-10](https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-5-10)
7. Danilova A.A., Legostaeva Ja.B., Sivceva N.E., Petrov A.A. Method for assessing the resistance of the soil saprotrophic microbial community by the method of CLPP, *Patent No. 2678876*. 2019. *Bull. No. №3*.
8. *Methods of soil microbiology and biochemistry*. Moscow: Publishing House of MGU, 1980, 223 p. (In Russian)
9. Mishustin E.N., Shilnikova V.K. *Biological fixation of atmospheric nitrogen*. Moscow: Nauka Publ., 1968, 530 p. (in Russian)
10. Odum E. *Fundamentals of ecology*. Moscow: Mir Publ., 1975, 736 p. (in Russian)
11. Svistova L.D., Istomina E.I. Nitrogen-fixing activity of urban soils on the example on different categories of urbanized territory of the city of Voronezh. In book: Biogeochemistry – nauchnaya osnova ustoychivogo razvitiya i sokhraneniya zdorovia cheloveka (Biogeochemistry is the scientific basis for sustainable development and preservation of human health). Works of the XI Intern. biogeochemical school (Tula, June 13-15, 2019). Tula: Publishing House of TGPU named after L.N. Tolstoy, 2019, p. 183–185. (in Russian)
12. Skugoreva S.G., Adamovich T.A., Olkova A.S., Domracheva L.I., Domnina E.A., Zlobin S.S., Izmistieva A.V., Ashikhmina T.Y. Using the methods of bioindication and biological testing in the evaluation of the state of the natural complex in the zone of influence of Kirovo-Chepetsk chemical works, *Vestnik institute biologii Komi nauchnogo tsentra Uralskogo otdeleniya RAN (Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the RAS)*, 2012, No. 3, p. 30–37. (in Russian)
13. Skugoreva S.G., Kutyavina T.I., Ogorodnikova S.Yu., Kondakova L.V., Simakova V.S., Blinova A.L., Zykova Yu.N., Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya. Integrated approach to environmental assessment of urban soil, *Theoretical and applied ecology*, 2019, No. 3, p. 57–65. (in Russian) DOI: [10.25750/1995-4301-2019-3-057-065](https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-057-065)
14. Feoktistova I.D. Assessment of the state of the soil in the city of Vladimir as per the presence of *Azotobacter* and sanitary index. In book: Collection of selected articles based on the materials of the Sci. Conf. of the GNII “Natsrazvitiye” (St. Petersburg, 24-28 February, 2019). St. Petersburg: Publishing House of GNII “Natsrazvitiye”, 2019, p. 87–90. (in Russian)
15. Feoktistova I.D., Sakhno O.N., Zhuravlyova A.G. Estimation the soils ecological condition at urbanized territories, polluted by oil products, *Izvestiya of the Samara Russian Academy of Sciences scientific center*, 2011, Vol. 13, No. 1 (5), p. 1233–1235. (in Russian)
16. Gueneta B., Juarez S., Bardoux G., Pouteau V., Cheviron N., Marraud C., Abbadie L., Chenu C. Metabolic capacities of microorganisms from a long-term bare fallow, *Applied Soil Ecology*, 2011, Vol. 51, p. 87–93. DOI: [10.1016/j.apsoil.2011.07.006](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.07.006)
17. Habtewold J.Z., Helgason B.L., Yanni S.F., Janzen H.H., Ellert B.H., Gregorich E.G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities, *European Journal of Soil Biology*, 2020, V. 98, p. 2–9. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2020.103190](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103190)
18. Kour D., Rana K.L., Yadav A.N., Yadav N., Kumar M., Kumar V., Vyas P., Dhaliwal H.S., Anil Kumar A.K. Saxena Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. V. 23. 101487. DOI: [10.1016/j.bcab.2019.101487](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487)
19. Noar J., Bruno-Barcena J. *Azotobacter vinelandii*: the source of 100 years of discoveries and many more to come, *Microbiology*, 2018, Vol. 164, p. 421–436. DOI: [10.1099/mic.0.0006](https://doi.org/10.1099/mic.0.0006)
20. Pandit A., Adholeya A., Cahill D., Brau L., Kochar M. Microbial biofilms in nature: unlocking their potential for agricultural applications, *Journal of Applied Microbiology*, 2020, Vol. 129, p. 199–211. DOI: [10.1111/jam.14609](https://doi.org/10.1111/jam.14609)
21. Viscardi S., Ventrino V., Duran P., Maggio A., De Pascale S., Mora M.L., Pepe O. Assessment of plant growth promoting activities and abiotic stress tolerance of *Azotobacter chroococcum* strains for a potential use in sustainable agriculture, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2016, Vol. 16 (3), p. 848–863. DOI: [10.4067/S0718-95162016005000060](https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000060)

22. Wu Y., Kemmitt S., White R.P., Jianming Xu J., Brookes P.C. Carbon dynamics in a 60 year fallowed loamy-sand soil compared to that in a 60 year permanent arable or permanent grassland UK soil, *Plant Soil*, 2012, Vol. 352, p. 51–63. DOI: [10.1007/s11104-011-0979-4](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0979-4)

Received 01 November 2021

Accepted 12 November 2021

Published 16 December 2021

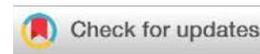
Danilova Albina A. – Doctor of Biological Sciences, Principal Researcher in the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia); Danilova7alb@yandex.ru

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

The authors read and approved the final manuscript



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

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПОЧВА КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ», ПОСВЯЩЕННАЯ 90-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ИГУ И ГОДУ БАЙКАЛА**© 2021 Т.В. Нечаева ¹, Н.А. Соколова ¹, Н.Д. Киселева ²¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: nechaeva@issa-siberia.ru; nsokolova@issa-siberia.ru²ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет, ул. Сухэ-Батора, 5, г. Иркутск, 664011, Россия. E-mail: nata_kis71@list.ru

С 23 по 29 августа 2021 г. в Иркутске состоялась V Международная научная-практическая конференция «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем» (далее – конференция), посвященная 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Иркутского государственного университета (ИГУ) и Году Байкала. Общее количество участников конференции – 130 из 27 регионов России и 6 стран зарубежья (Беларусь, Болгария, Грузия, Молдова, Ливан и Литва). Дан обзор пленарных и секционных докладов по следующим научным направлениям: 1. Теоретическое почвоведение: генезис, эволюция, классификационные проблемы; 2. Мультидисциплинарные подходы почвоведения, связанные с использованием методов почвоведения в других науках и научно-производственных направлениях; 3. Почвенные ресурсы и оценка земель (плодородие, деградация, мелиорация, качественная и экономическая оценка, экология и охрана земель). Всего на конференции заслушано 43 доклада: 8 пленарных и 35 секционных. Подробное изложение представленных в обзоре докладов и других материалов конференции заинтересованный читатель найдет в сборнике «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем» (2021).

Приведено краткое описание двух экскурсий: (1) научно-популярной на побережье озера Байкал, проведенной 23 августа 2021 года; (2) научно-полевой почвенной на Братское водохранилище, организованной 26-29 августа 2021 года. Цель экскурсий – знакомство с природой и историко-культурным наследием Иркутской области, озером Байкал, а также с почвами, почвообразующими породами и природными особенностям Южного Приангарья. По ходу почвенной экскурсии были представлены ландшафты, обнажения пород и почвенные разрезы на следующих останковках: почвы на бугристо-западинном рельефе; палеолитическая стоянка древнего человека Мальта с разрезами вблизи георхеологического объекта Мальта-Мост 3; аллювиальная серогумусовая почва в пойме реки Белой; обнажения нижнекембрийских пород вблизи поселка Новомальтинска; Черемховский угольный разрез; чернозем дисперсно-карбонатный заглипсованный около реки Унга; Новонкутский гипсовый рудник; серая метаморфическая почва и чернозем мицелярно-сегрегационный в окрестностях поселка Балаганск на берегу Братского водохранилища. В конце почвенной экскурсии участники конференции провели круглый стол по проблемам генезиса и классификационной принадлежности почв Южного Приангарья. Классификационное положение всех рассмотренных почв обосновано в рамках двух отечественных классификационных систем: Классификация почв России (2004) и Классификация и диагностика почв СССР (1977). Для научно-информационной поддержки почвенной экскурсии подготовлен и опубликован путеводитель «Южное Приангарье: особенности почвообразования на разновозрастных породах» (2021).

Проведение конференции вызвало большой интерес широкого круга специалистов в области почвоведения, агрохимии и экологии, оценки земельных ресурсов, ландшафтоведения и др. Организация подобных мероприятий содействует обмену опытом и укреплению сотрудничества между исследователями ведущих ВУЗов и научных центров, эффективному освоению передовых научно-методических достижений и практик, обобщению информации о почве как связующего звена функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем.

Ключевые слова: педогенез; почвенный покров; ландшафты; эрозия; засоление; почвенные свойства; палеопочвы; мерзлота; агроценоз; залежь; рекультивация; мониторинг; макро- и микроэлементы; гумусовые вещества; лигнин; музей почвоведения

Цитирование: Нечаева Т.В., Соколова Н.А., Киселева Н.Д. Международная конференция «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем», посвященная 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и году Байкала // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 3. e155. doi: [10.31251/pos.v4i3.155](https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.155)

23-29 августа 2021 г. в Иркутске состоялась V Международная научная-практическая конференция «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем» (далее – конференция), посвященная 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Иркутского государственного университета (ИГУ) и Году Байкала (рис. 1). В организации конференции приняли участие: ИГУ, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и Иркутское отделение Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Конференция имеет уже двадцатилетнюю историю проведения (2001; 2006; 2011; 2016 гг.) и вызывает несомненный интерес у российских и зарубежных ученых разных специальностей естественно-научных направлений.



Рисунок 1. Участники V Международной научно-практической конференции «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем» (фото А.Г. Заварзиной).

Цель проведения конференции – содействие укреплению сотрудничества и обмену опытом между исследователями ведущих отечественных и зарубежных ВУЗов и научных центров; эффективное освоение передовых мировых научно-методических достижений и практик; обсуждение современных проблем в области почвоведения, агрохимии, экологии и охраны почв, оценки земельных ресурсов; обобщение информации о почве как связующего звена функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем.

Общее количество участников конференции – 130 из 27 регионов России и 6 стран ближнего и дальнего зарубежья. С докладами выступили представители ВУЗов и научных учреждений из следующих городов России и зарубежья:

- ✓ **Иркутск** (Иркутский государственный университет, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Лимнологический институт СО РАН, Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН);
- ✓ **Красноярск** (Красноярский государственный аграрный университет, Красноярский научный центр СО РАН);

- ✓ **Москва и Московская область** (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН);
- ✓ **Новосибирск** (Новосибирский государственный аграрный университет, Институт почвоведения и агрохимии СО РАН);
- ✓ **Ростов-на Дону** (Южный федеральный университет);
- ✓ **Рязань** (Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний);
- ✓ **Санкт-Петербург** (Санкт-Петербургский государственный университет, Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева);
- ✓ **Томск** (Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН);
- ✓ **Улан-Удэ** (Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Байкальский университет природопользования СО РАН);
- ✓ **Якутск** (Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН).
- ✓ **Минск, Беларусь** (Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов);
- ✓ **София, Болгария** (Бассейновая дирекция Юго-западного Беломорского региона Болгарии, ООО «Проте 22»).

В материалах конференции представлены также работы из научно-исследовательских организаций таких зарубежных стран как Грузия (Тбилиси), Ливан (Бейрут), Литва (Каунас), Молдова (Кишинёв), Беларусь (Минск, Гомель, Горки).

Научные направления работы конференции разделены на следующие секции:

1. Теоретическое почвоведение: генезис, эволюция, классификационные проблемы;
2. Мультидисциплинарные подходы почвоведения, связанные с использованием методов почвоведения в других науках и научно-производственных направлениях;
3. Почвенные ресурсы и оценка земель (плодородие, деградация, мелиорация, качественная и экономическая оценка, экология и охрана земель).

Конференция началась с пленарного заседания, в начале которого с приветственным словом к участникам мероприятия обратились:

- ✓ **Шмидт Александр Федорович**, д.х.н., профессор, ректор ИГУ;
- ✓ **Гранина Наталья Ивановна**, к.б.н., зав. базовой кафедрой почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ;
- ✓ **Белозерцева Ирина Александровна**, к.г.н., зав. лабораторией геохимии ландшафтов и географии почв Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, доцент ИГУ;
- ✓ **Апарин Борис Федорович**, д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета и научный руководитель Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева;
- ✓ **Безуглова Ольга Степановна**, д.б.н., профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета;
- ✓ **Мажайский Юрий Анатольевич**, д.с.-х.н., профессор кафедры экономики и менеджмента Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева, гл. научный сотрудник Мещерского филиала Всероссийского НИИ гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова;
- ✓ **Макеев Александр Олегович**, д.б.н., вед. научный сотрудник лаборатории экологического почвоведения кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова;
- ✓ **Убугунова Вера Иванова**, д.б.н., вед. научный сотрудник лаборатории биогеохимии и экспериментальной агрохимии Института общей и экспериментальной биологии СО РАН;
- ✓ Гости из зарубежных стран: **Гертман Любовь Николаевна** – начальник отдела гидрологии и водоохраных территорий Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (Минск, Беларусь); **Димитров Владимир Цветанов** – Бассейновая дирекция Юго-западного Беломорского региона Болгарии (София, Болгария); **Попова Иванка Ганчева** – ООО «Проте 22» (София, Болгария).

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

На пленарном заседании участники конференции засушили и обсудили 8 докладов.



Рисунок 2. Выступление на пленарном заседании Граниной Натальи Ивановны (фото Т.В. Нечаевой).

Открыла работу заседания **Гранина Н.И.** (рис. 2) с выступлением об истории формирования и развития кафедры почвоведения на базе ИГУ, созданной в 1931 году. Представлены основные вехи становления иркутской школы почвоведов. За 90-летнюю историю развития кафедры, в лице коллективов ее сотрудников, стала центром по подготовке специалистов-почвоведов для регионов Сибири и Дальнего Востока, научным центром по изучению почв и почвенного покрова Байкальской Сибири, их использованию и охране (Гранина, Мартынова, 2021).

В докладе **Алексеева О.А.** с соавторами представлены данные по изучению свойств органоминеральных комплексов почв степной зоны Восточно-Европейской равнины во взаимосвязи с климатическими параметрами (осадки, температура и аридность). Показано, что за последние 5000 лет на территории Волго-Донского междуречья происходили неоднократные изменения климатической ситуации, вызывавшие миграции границ почвенно-географических зон. Повторные обследования изученных 20-40 лет назад фоновых современных почв, прилегающих к археологическим памятникам (курганам, могильникам), фиксируют существенные изменения свойств этих почв по физическим и химическим показателям, в связи с динамикой изменения климата и нарастающей антропогенной нагрузкой на территорию. Тенденции усиления засушливости в начале XXI века после этапа повышенного увлажнения второй половины XX века выявлена практически для всей территории юга европейской равнины (Алексеев О.А. и др., 2021).

В выступлении **Апарина Б.Ф.** речь шла о концепции создания биосферного полигона почвенно-экологического мониторинга (БП ПЭМ) лесных экосистем. Цель БП ПЭМ – разработка моделей прогноза изменений лесорастительного и экологического потенциалов почв на основе данных кратко-, средне- и долгосрочного мониторинга почвенных, растительных, биологических индикаторов глобального потепления климата и антропогенного воздействия. Для создания БП ПЭМ перспективной территорией на Северо-западе России является Лисинское лесничество, расположенное в 60 км юго-восточнее Санкт-Петербурга и представляющее собой крупный лесной массив. Для осуществления долгосрочного ПЭМ в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева специально создана биоресурсная коллекция почвенных монолитов и образцов, имеющих пространственную и временную привязку (Апарин, 2021).

Убугунова В.И. с соавторами представила результаты по изучению свойств и классификационной принадлежности почв горных пойм бассейна реки Керулен, формирующихся в «шовной» зоне Охотско-Монгольского орогенного пояса (Верхнекеруленская котловина, Хэнтэй, Монголия). Данная территория характеризуется неоднородным тектоническим и геоморфологическим строением, сложной гидрогеологической структурой и неоднородными условиями седиментогенеза аллювиальных отложений верхнего, центрального и южного участков Верхнекеруленской котловины. В северной части котловины (лесостепная зона) формируются аллювиальные почвы с укороченным профилем. В местах сброса хлоридно-гидрокарбонатных и магниевых натриевых минеральных вод встречаются засоленные почвы. В центральной и южной частях котловины (степная зона) в морфологическом строении почв прослеживаются процессы карбонизации, оглеения, засоления, аккумуляции органического вещества. Преобладающими почвами на территории Верхнекеруленской котловины являются аллювиальные серогумусовые и темногумусовые почвы (Убугунова и др., 2021).

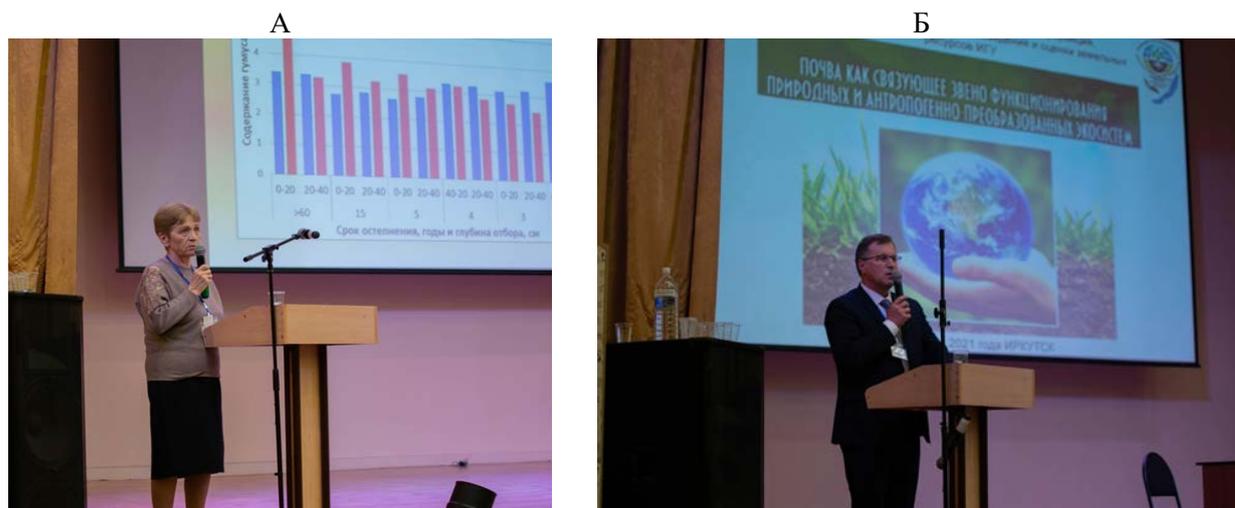


Рисунок 3. Выступления на пленарном заседании конференции: А – Безуглова Ольга Степановна, Б – Шпедт Александр Артурович (фото А.А. Касимовой).

В докладе **Безугловой О.С.** (рис. 3 А) обращено внимание на гумусное состояние черноземов остепняющихся территорий. Показано, что в черноземе обыкновенном карбонатном (миграционно-сегрегационном) Ростовской области содержание гумуса возрастает в ряду пашня – 3-4 года – 5 лет – 15 лет – 60 лет залежи. Изменяется и качественный состав гумуса за счет уменьшения доли негидролизующего остатка. Остепнение способствует улучшению структурного состояния чернозема: повышаются коэффициенты структурности и водопрочности агрегатов. Однако, несмотря на изменение параметров гумусного состояния, улучшение структуры и сложения почвы, за 60 лет остепнения наблюдается не образование почвенной сукцессии, а именно постепенное восстановление свойств целинного чернозема, так как не меняется даже видовое название почвы (Безуглова, 2021).

Подробно рассмотрен регионализм педогенеза в Байкало-Енисейской Сибири (БЕС) в выступлении **Воробьевой Г.А.** Почвы, специфичные по тем или иным свойствам, имеют довольно широкое распространение в БЕС. Особенности окраски и вещественного состава таких почв были унаследованы от материнских горных пород. Принадлежность региона к внеледниковой зоне, характеризующейся суровым криоаридным климатом, внесла свою лепту в обусловленные криогенезом особенности строения почвенного покрова и почвенных профилей. Недостаточное количество атмосферных осадков в голоцене благоприятствовало сохранению карбонатов в почвообразующих породах. Как показали педолитологические исследования, регионализм педогенеза в БЕС определен не столько современными биоклиматическими условиями, сколько геологическими и палеогеографическими факторами (Воробьева, 2021).

Доклад **Макеева А.О.** посвящен почвам палеокриогенных комплексов на Русской равнине. Корреляция мерзлотных признаков и климатических параметров в современных холодных и мерзлотных областях позволяет реконструировать палеоландшафтную обстановку. Палеокриогенные признаки широко представлены в современных почвах, в которых они трансформируются голоценовым почвообразованием. В пределах ледниковых и перигляциальных равнин северного полушария мерзлотные признаки верхнего плейстоцена определяют широкую совокупность свойств современных почв, а также структуру почвенного покрова. Например, на Русской равнине палеокриогенные признаки представлены в почвах тундровой, лесной, лесостепной и степной зон (Макеев, 2021).

В завершающем пленарном заседании выступлении **Шпедта А.А.** (рис. 3 Б) дана оценка природно-ресурсному потенциалу (ПРП) земельной территории Красноярского края на примере Канского природного округа, который почти в равной степени разделен на лесостепь (53,4%) и подтайгу (46,6%). Под ПРП агроландшафтов подразумевается совокупность природных ресурсов, которые могут быть использованы в сельском хозяйстве. ПРП Канского природного округа оценивается в 42 балла, что соответствует среднему природно-ресурсному потенциалу. Наиболее благоприятные условия складываются в южной лесостепи, ее ПРП равен 50,7 балла, также высоким ПРП обладает типичная лесостепь – 46,5 балла. ПРП подтайги является пониженным (38,1 балла) (Шпедт, Злотникова, 2021).

СЕКЦИЯ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ: ГЕНЕЗИС, ЭВОЛЮЦИЯ,
КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

На секции было заслушано 10 докладов. География докладов охватывает почвы Центральной Якутии, побережья Баренцева моря, Республики Коми, Ленинградской, Иркутской и Томской областей, Красноярского края, Республики Тыва, Монголии.

Большой интерес проявлен к выступлению **Чевычелова А.П.** с рассмотрением генезиса, классификации и разнообразия мерзлотных почв Центральной Якутии. Выдвинуты гипотезы о генетической сущности мерзлотных подзолов, солодей и черноземов. Показано, что в исследуемом регионе частные почвообразовательные процессы, протекающие на фоне криогенеза, приводят к формированию максимально контрастного почвенного покрова и большому разнообразию мерзлотных почв, когда систематический список последних включает 19 типов зональных, азональных и интразональных почв (Чевычелов и др., 2021). Установлено, что характер магнитных профилей мерзлотных черноземов (выщелоченных и обыкновенных) и мерзлотных палевых почв целиком определяется индивидуальными особенностями формирования их свойств и состава (Алексеев, Чевычелов, 2021; Алексеев А.А. и др., 2021).

В докладе **Деневой С.В.** с соавторами представлены почвы побережья Баренцева моря и особенности их генезиса, а также изложены результаты по исследованию почв на начальных этапах искусственного лесовосстановления в подзоне средней тайги (Республика Коми). Выявлено, что ведущими процессами почвообразования являются подстилкообразование, формирование гумусово-аккумулятивных горизонтов и гумусонакопление, скорость которых определяется степенью развития растительного сообщества (Лиханова и др., 2021).

Несколько докладов посвящены лесным ландшафтам. Так, в выступлении **Дюкарева А.Г.** с соавторами отмечена цикличность почвообразования в лесных экосистемах таёжной зоны Западной Сибири. Динамика почв в сукцессионных циклах включает как этапы деградации почв на стадии зрелых и перестойных древостоев, так и проградацию почв на стадии производных лиственных лесов (Дюкарев и др., 2021; Никифоров и др., 2021). Исследования почвенного покрова, проведенные **Сухачевой Е.Ю.** на территории Ленинградской области, крупного агропромышленного региона, и города Санкт-Петербурга показали, что антропогенное воздействие является причиной значительной трансформации структуры почвенного покрова (СПП) – изменяются характеристики и компонентный состав почвенных комбинаций, происходит частичное или полное разрушение исторически-сложившихся межкомпонентных связей, обуславливающих функциональную целостность СПП. Всего в регионе выделено 16 групп антропогенно-измененных и антропогенных СПП, связанных с различными видами хозяйственной деятельности, характерных для лесной зоны России (Сухачева, 2021).

Проблемы терминологии, классификации и генезиса гумусовых веществ рассмотрены в выступлении **Заварзиной А.Г.** Концепция разделения гумуса на гуминовые и не гуминовые вещества требует пересмотра. Было бы проще не делить гумус на вещества известного и неизвестного строения. Обе категории образуют сложный ансамбль, определяющий функционирование гумуса как естественного тела. Понятия гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумин следует использовать как устоявшиеся названия фракций гумуса, полученных определенным способом, а не как группы конкретных гуминовых веществ (Заварзина, 2021).

В докладе **Лесовой С.Н.** речь шла о маломощных щебнистых почвах на плотных породах Сибири: подбуры на породах основного состава, относящихся к трапповой формации Среднесибирского плоскогорья (Красноярский край) и буроземы на карбонатных отложениях Прибайкалья (Иркутская область). Полученные результаты дополняют схемы выветривания и почвообразования на плотных породах, в соответствии с которыми продукты трансформации в примитивно-криогенном типе коры выветривания представлены плохо окристаллизованными смешанослойными образованиями, либо органо-минеральными соединениями (Лесовая, 2021).

В выступлении **Сорокиной О.А.** обобщены материалы двух последних циклов агрохимического обследования почв пашни и залежи наиболее развитых в сельскохозяйственном отношении объектов: ОПХ «Сосновское», расположенного в центральной части Тандинского кожууна, сам Тандинский кожуун и в целом Республика Тыва. Между циклами обследования отмечено снижение обеспеченности подвижным фосфором в почвах всех объектов за счет острого дефицита фосфорных удобрений и повышение обеспеченности обменным калием, особенно в почвах пашни при их «выпахивании» (Сорокина, Ондар, 2021).

Применение методов статистического анализа (метод главных компонент и кластерный анализ) при изучении особенностей формирования и функционирования различных типов почв Южного Предбайкалья продемонстрировано в выступлении **Козловой А.А., Приставка А.А.** Почвы рассматриваются с точки зрения двуединого тела, обладающего набором устойчивых свойств (гранулометрический и валовой состав, состав ППК, электросопротивление, содержание и состав гумуса, агрегатный состав), характеризующих историю формирования почв как биокосного тела и комплексом динамических показателей (гидротермические и агрохимические, продуктивность фито- и агроценозов, биологическая активность), отвечающих за функционирование почв в современную фазу почвообразования. По устойчивым свойствам почвы подтайги, лесостепи и степи отнесены к разным областям и кластерам, что указывает на различия их формирования в прошлом. Близкие значения динамических показателей подчеркивают сходство процессов функционирования почв различных ландшафтов в современную фазу почвообразования. Область почв подтайги выделяется отдельно, что указывает некоторую обособленность их развития (Козлова, Приставка, 2021).

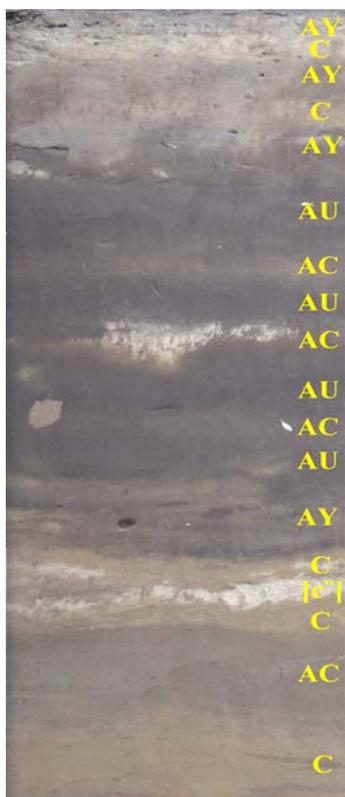


Рисунок 4. Пример слоистого строения разреза аллювиальной почвы. Общая формула по Классификации... (2004): АУ-С~. Конкретная формула: [АУ-(С~)]3-[АУ-(С~)]4-АУ-С~-АС-С~ (цит. по: Куклина, Воробьева, 2021; фото С.Л. Куклиной)

В докладе **Куклиной С.Л., Воробьевой Г.А.** рассмотрены актуальные проблемы классификации и записи формул строения профилей аллювиальных почв России. Авторы считают, что разделение аллювиальных почв в классификации почв России (2004) не имеет детального характера и сводится только к характеристике верхнего горизонта, не предлагая правил индексации горизонтов нижележащей части профиля. Формула аллювиальных почв в виде А-С~ не несет ни качественной, ни количественной информации о реальном строении почв. В качестве примера показано строение серогумусовой аллювиальной почвы (рис. 4) на высокой пойме реки Белой (Прибайкалье), где с глубины 25 см встречается серия темногумусовых горизонтов АУ. Авторы предлагают использовать для аллювиальных почв правила регистрации профилей для вулканических почв, принятые в классификации почв России (2004). Это позволит более детально рассмотреть палеоэкологические особенности строения аллювиальных почв, которые закодированы в структуре и свойствах погребенных почвенных горизонтов, а также оценить их агропроизводственные возможности и экологическую устойчивость (Куклина, Воробьева, 2021).

В выступлении **Мартыновой Н.А.** показаны биогеохимические особенности почвообразования в реализации экосистемных функций фосфоритонесных ландшафтов Монголии Байкальской рифтовой зоны. Вдоль высокогорных поясов Прихубсугуля на территории Онголигнурского месторождения фосфоритов развиваются лесные, степные и тундровые биоценозы с исключительно богатым травянистым покровом. Почвы, сформированные на фосфоритах, характеризуются большим количеством валового и подвижного фосфора, что определяет их своеобразные свойства. Биогенная составляющая, фосфатность и карбонатность изученных экосистем является мощным биосферным и биогеохимическим барьером для многих химических элементов, что способствует сохранению биоразнообразия региона, замедляет и предотвращает зафосфачивание акватории озера Хубсугул (Мартынова, 2021).

СЕКЦИЯ 2. МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПОДХОДЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПОЧВОВЕДЕНИЯ В ДРУГИХ НАУКАХ И НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

На секции было заслушано 10 докладов, часть из них посвящена мультидисциплинарным подходам в почвоведение и смежных науках, связанных с изучением современных и палеопочв, реконструкцией почв, ландшафтов и климата прошлых эпох, поиском заброшенных скотомогильников, оценкой экосистемных функций древесных растений и почв городских лесов.

В двух докладах речь шла о палеопочвах (ПП). Так, в выступлении **Алексеевой Т.В., Алексеева А.О.** представлены результаты детального изучения ПП, обнаруженной в кровле протерозойского фундамента на контакте с породами палеозойского/мезозойского осадочного чехла на территории карьера Стойленского ГОКа (район Курской магнитной аномалии). ПП развита непосредственно на окисленных массивных железистых кварцитах. ПП сочетает в себе признаки, характерные для целого ряда почвенных и почвоподобных тел современности, прежде всего это литосоли и сульфатнокислые почвы (Алексеева, Алексеев, 2021). Междисциплинарному изучению археологических геоархивов раннего средневековья посвящен доклад **Приходько В.Е.** с соавторами. Объекты исследования – фоновый и подкурганые обыкновенные черноземы раннесредневекового (890–975 гг. н. э.) некрополя Сростки-1 Алтайского края. Курганы некрополя изучены археологическими, палинологическими, почвенными и геохимическими методами. Ученые предполагают, что площади сосново-березовых и прибрежно-ивовых лесов в раннем средневековье были меньше, чем сейчас. Это могло быть связано с вырубкой лесов и более холодными зимами. Установлено сходство морфологических свойств древних и фоновых почв. Однако отмечено, что почва до постройки курганов формировалась в несколько более сухом климате по сравнению с настоящим временем (Приходько и др., 2021).

Большой интерес проявлен к двум докладам **Бадмаева Н.Б.** с соавторами. В одном из них рассмотрен алгоритм информационно-поисковой системы для выявления заброшенных скотомогильников (СМ) в условиях островной мерзлоты. Использование современных технологий значительно расширяет возможности автоматизированного и целенаправленного поиска заброшенных СМ, прогнозирования их пространственного расположения, выявления почвенных очагов сибирской язвы и оценки их биологической опасности в условиях криолитозоны. Например, на территории Республики Бурятия из четырех выявленных СМ обнаружена ДНК возбудителя сибирской язвы и доказана потенциальная активность двух почвенных очагов. В настоящее время ведутся работы по созданию Базы данных стационарно неблагополучных пунктов и почвенных очагов сибирской язвы по субъектам РФ с использованием ГИС-технологий (Бадмаев и др., 2021 а). В другом докладе представлены результаты исследований по определению параметров климатических ниш почв на южной границе криолитозоны Забайкалья с применением координатного анализа – изучение формирования почв в многомерном признаковом пространстве факторов почвообразования. Сопряженный анализ мелкомасштабных карт (М 1:3500000) позволил авторам выявить взаимоспецифические состояния почв и климатических факторов среды, определить климатические ареалы почв и распределение полей в координатах системы «почва-климат» на уровне почвенных округов (Бадмаев и др., 2021 б).

Горные почвы как планетарные архивы информации очень подробно и наглядно рассмотрены в выступлении **Ковалевой Н.О.** Показано, что почвенный архив палеоэкологической информации в горах потенциально превосходит многие более известные и широко используемые природные архивы, а иногда является единственно доступным для наблюдений. В древних горных системах, таких как Урал, Тянь-Шань, Тибет рельеф отличается наличием значительных выположенных пространств разных высотных уровней – межгорных котловин, аллювиальных долин, сыртовых нагорий, поднятых плато, латерально и фронтально террасированных долин. Структуры почвенного покрова подобных пространств сочетают в себе черты гор и равнин с одной стороны, и отражают разновозрастность подстилающих поверхностей – с другой. Детальное исследование почвенного покрова выполнено в природном заказнике Чон-Курчак (Северный Тянь-Шань), в долине Ача-Каинды (Центральный Тянь-Шань), в заповеднике «Басеги» (Средний Урал), в долине Поачвуумчор (Хибины), на Главной гряде Крымских гор, в Ахтынском районе Восточного Кавказа. В зависимости от геоморфологического положения почв можно говорить о различных типах почвенных архивов, по-разному сохраняющих и записывающих информацию (Ковалева, 2021).

Два доклада посвящены изучению почв Иркутской области. В выступлении **Жученко Н.А.** с соавторами речь шла об определении геохимического фона в распределении макро- и микроэлементов в профиле дерново-подбуров юго-западной части Приморского хребта. Макроэлементный состав дерново-подбуров характеризуется относительным увеличением вниз по профилю содержания натрия, калия, магния и титана, незначительным снижением с глубиной содержания марганца, относительно постоянным составом по кальцию и резким накоплением железа в иллювиальном горизонте BF_1 (Жученко и др., 2021). Почвенно-альгологические особенности луговых степей в окрестностях села Баяндай показаны в докладе **Тупиковой Г.С.**

Биохимия лигнина в почвах подробно рассмотрена в выступлении **Ковалева И.В., Ковалевой Н.О.** Предложена научная гипотеза, объясняющая генезис продуктов окисления лигнина в составе гумуса отдельных типов почв в различных природных зонах и позициях ландшафта с учетом биохимического состава растений. Изучены факторы и установлены причинно-следственные связи состава органического вещества почв (гумуса) и биохимического состава различных частей растений, выявлена особая роль лигниновых фенолов подземных органов растений в процессе гумификации. Предложены области применения лигниновых фенолов в практике сельского хозяйства и медицины (Ковалев, Ковалева, 2021).

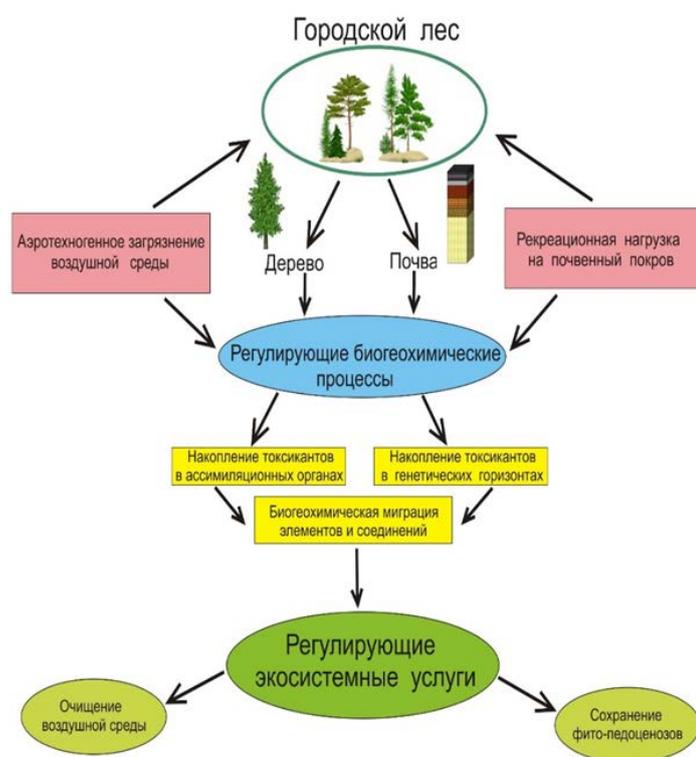


Рисунок 5. Опорная схема для выполнения исследований по оценке регулирующих экосистемных услуг городских лесов (Шергина и др., 2021).

В докладе **Шергиной О.В.** с соавторами представлены подходы к оценке экосистемных функций древесных растений и почв городских лесов Приангарья (в городах Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское). Результаты исследований существенно расширяют представления об экологических механизмах адаптации растений и почв к нагрузкам городской среды и роли экосистемных услуг этих компонентов в поддержании экологического равновесия на урбанизированной территории (рис. 5). В практическом плане применение полученных результатов возможно в целях оптимизации урбанизированной среды посредством разработки научно обоснованных методов озеленения и восстановления почвенного покрова (Шергина и др., 2021).

О двух известных ученых-почвоведов Восточной Сибири – **Иване Васильевиче Николаеве** и **Виталии Андрияновиче Кузьмине**, речь шла в докладе **Белозерцевой И.А., Снытко В.А.** Основанная И.В. Николаевым в 1931 году кафедра почвоведения ИГУ провела большую работу по подготовке специалистов почвоведов для Восточной Сибири, Дальнего Востока и западных регионов страны. Одним из важных положений, выдвинутых И.В. Николаевым: современные почвы Восточной Сибири стали развиваться не на материнских породах, в противоположность почвам Западной Сибири, где оледенением были уничтожены следы ранее протекавших почвенных процессов, а на почвах предыдущих геологических эпох. Кузьмин В.А. выдвинул ряд теоретических положений, в частности о множественности типов взаимодействия почв со средой. Им установлены парагенетические ряды почв, особенности их развития на разных породах, созданы почвенные карты, опубликованы статьи и монографии (Снытко, Белозерцева, 2021).

СЕКЦИЯ 3. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ
(ПЛОДОРОДИЕ, ДЕГРАДАЦИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ, КАЧЕСТВЕННАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ)

Секционное заседание по почвенным ресурсам и оценке земель оказалось самым многочисленным, было заслушано 15 докладов. Представлены и обсуждены результаты исследований, выполненные не только в различных регионах России, но и в странах ближнего зарубежья (Беларусь, Болгария). Большая часть докладов посвящены вопросам плодородия, деградации и мелиорации, в том числе пахотных, залежных, эродированных и засоленных почв; изучению молодых почв техногенных ландшафтов; рациональному и эффективному использованию земельных ресурсов и прочее. Другая часть докладов, подготовленных зарубежными коллегами, освещает вопросы мониторинга и охраны водных ресурсов. Так, в двух выступлениях речь шла о водных ресурсах Болгарии: **Цветанов Д.В.** рассказал в целом об организации мониторинга водных ресурсов, **Попова И.Г.** – про способы очистки почв и воды, загрязненных нефтепродуктами и другими опасными веществами. Об охране водных ресурсов в Республике Беларусь подробно разобрано в докладе **Гертман Л.Н.** с соавторами. Показано, что Российская Федерация и Республика Беларусь имеют схожий подход к установлению границ водоохраных зон и прибрежных полос для поверхностных водных объектов, что может стать основой трансграничного сотрудничества в области охраны водных ресурсов. Проблемы определения размеров таких зон и режима хозяйственной деятельности с учетом современных технологий для рационального использования природных ресурсов без ущерба окружающей среде являются весьма актуальными в обеих странах (Гертман и др., 2011).

В двух докладах затрагивается актуальная тема об изменении физических и агрохимических свойств пахотных черноземов в условиях их длительного использования на юге Западной Сибири. Например, в выступлении **Добрянской С.Л.** показано, что в полевом севообороте с преобладанием зерновых культур агрогенная деградация структурного состояния черноземов проявляется за счет увеличения глыбистой фракции (размером >10 мм) и уменьшения количества агрономически ценных агрегатов. В овощном севообороте с орошением структурное состояние черноземов ухудшается более интенсивно, увеличивается плотность, возрастает содержание неводопрочных агрегатов. Сохранению и восстановлению агрономически ценной структуры почвы способствуют такие агротехнические приемы, как посев многолетних трав, уменьшение оборота пласта, внесение удобрений (Добрянская, 2021). Содержание гумуса и обменных катионов в эродированных пахотных почвах рассмотрено в докладе **Нечаевой Т.В., Якутиной О.П.** Показано, что основные обменные позиции в ППК заняты преимущественно кальцием – от 85 до 91% из общей суммы катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ и Na^+). Сопоставление результатов с литературными данными по содержанию обменных катионов в черноземах за продолжительный период времени свидетельствует о прогрессирующей деградации и снижении противоэрозионной устойчивости почв эрозионно опасного склонового агроландшафта (Нечаева, Якутина, 2021).

В продолжении темы деградации почв выступила **Фомичева Д.В., Жидкин А.П.**, где речь шла об оценке изменений темпов эрозии почв под воздействием различных природных и антропогенных факторов за последние 250 лет и картографировании степени эродированности почвенного покрова на ключевом участке в Московской области. Анализ изменения факторов эрозионно-аккумулятивных процессов показал, что агроэрозионный потенциал осадков и коэффициент эрозионной устойчивости почв слабо варьируют во времени. В большей степени временным флуктуациям подвержен коэффициент землепользования (Фомичева, Жидкин, 2021). О содержании тяжелых металлов в конкрециях и магнитных частицах в дерново-неглубокоподзолистой поверхностно-глеевой почве под залежью в окрестностях г. Пермь сообщено в докладе **Гороховой С.М., Васильева А.А.** Обнаружено высокое содержание и значительное варьирование кобальта в составе магнитных частиц, что свидетельствует о техногенном загрязнении исследуемой почвы (Горохова С.М., Васильев А.А., 2021).

В докладе **Соколовой Н.А.** рассмотрены факторы дифференциации почвенного покрова в техногенных ландшафтах отвалов антрацитовых месторождений. Показано, что в формировании пространственной неоднородности почвенного покрова ведущую роль играют различные факторы: на выровненных участках отсыпки плотных пород – исходная литологическая неоднородность; на невыровненных бугристых участках – степень выраженности микрорельефа и экзогенные процессы перераспределения мелкозема и тонких частиц; на участках отсыпки рыхлыми породами – неравномерное заселение растительностью (Соколова, 2021).

Ряд докладов посвящены вопросам мелиорации почв. Так, в одном из выступлений **Мажайского Ю.А.** с соавторами речь шла о применении гуминовых препаратов в качестве мелиоранта на залежных землях, в другом – о влиянии комплексного загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) на каталазную активность чернозема оподзоленного в условиях его санации. Загрязнение почвы комплексом ТМ привело к снижению каталазной активности в 2 раза по сравнению с контрольным вариантом. Применение минеральных удобрений способствовало активизации каталазы, однако полностью не компенсировало отрицательное воздействие ТМ. Наиболее эффективным способом был органо-минеральный комплекс удобрений, внесение которого позволило не только купировать отрицательное воздействие ТМ, но и повысить каталазную активность почвы (Черникова, Мажайский, 2021). В докладе **Бурачевской М.В.** с соавторами представлены результаты по изучению влияния углеродистого сорбента (биочара) на адсорбционную способность чернозема обыкновенного карбонатного (слой 0-20 см) при загрязнении почвы медью. Доказано, что внесение биочара, полученного по авторской технологии из шелухи риса, повышает сорбционную способность чернозема по отношению к ионам меди, и данный сорбент может быть использован в целях ремидации почв (Бурачевская и др., 2021).

Об исследовании засоленных почв методом трансект-катен, формирующихся около озера Барун-Торей на территории природного биосферного заповедника «Даурский», рассказано в выступлении **Хадеевой Е.Р.** с соавторами. Катена включает в себя четыре разреза, заложенные от уреза воды озера до приозерной террасы. Установлено, что засоленные почвы имеют сильнощелочную реакцию среды, высокое содержание карбонатов, очень низкое содержание гумуса. Гранулометрический состав почв изменяется от среднесуглинистого до легкосуглинистого. Солончаки сульфидные (соровые) типичные занимают дно и берег высохшего озера, а солончаки вторичные типичные – основание приозерной террасы (Хадеева и др., 2021).

Большой интерес проявлен к выступлению **Гребенщикова В.Ю.** с обсуждением аспектов повышения эффективности использования залежных земель в Иркутской области. Предложена к внедрению следующая ротация культур: 1 – рапс на маслосемена, 2 – ячмень на пивоваренные цели, 3 – соя на бобы, 4 – пшеница на продовольственные цели. Включение в севооборот элементов минимальной обработки почвы, грамотное использование пестицидов при чередовании однодольных и двудольных культур с включением в севооборот сои дает возможность рационально использовать запасы влаги и оптимизировать расход минеральных удобрений. Гидротермический потенциал и опыт выращивания предложенных культур при оптимизации минерального питания позволяет получать урожай в пределах 3,5-4,5 т/га товарной продукции в Присяянской и Центральных частях Иркутской области (Гребенщиков, 2021). Эффективному использованию земельных ресурсов также посвящен доклад **Киселевой Н.Д., Сташкевич А.С.**, где рассмотрены морфоаналитические особенности наиболее распространенных типов почв Нукутского района Иркутской области: дерново-карбонатных и серых лесных почв, развитых на своеобразных карбонатных верхнекембрийских почвообразующих породах. Почвы являются высокоплодородными и рациональное их использование будет способствовать эффективному целевому применению земель, созданию благоприятных условий для высокой продуктивности сельскохозяйственных угодий и обеспечивать занятость населения (Киселева, Сташкевич, 2021).

Русакова Е.А. рассказала об истории формирования коллекции почв Дальневосточного региона в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева. Формирование коллекции началось с почвенных монолитов, привезенных из экспедиций Переселенческого управления в 1908-1911 гг. и продолжается до наших дней. Так, например, в 2018 году сотрудники Музея привезли монолиты с полуострова Камчатка, в 2019 году дополнили коллекцию амурских почв монолитами Зейского государственного природного заповедника. В настоящее время в Музее хранится 186 монолитов почв с Дальнего Востока, из них 76 объемных (Русакова, 2021).

Подробное изложение представленных в обзоре докладов и других материалов конференции заинтересованный читатель найдет в сборнике «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем» (2021).

Помимо участия в пленарном и секционных заседаниях участники конференции посетили Восточно-Сибирский музей почвоведения ИГУ (рис. 6 А, Б). **Мартынова Н.А.**, заведующая музеем, рассказала гостям о биогеографических особенностях распространения почв Байкальского региона в связи с фациальной спецификой их формирования и функционирования, представила уникальные почвенные монолиты, отобранные сотрудниками в различных биогеоценозах, коллекции почвенных новообразований, включений и другие экспонаты.



Рисунок 6. Восточно-Сибирский музей почвоведения ИГУ: А – сотрудники ИПА СО РАН (Соколова Н.А. и Нечаева Т.В.) на экскурсии в музее, Б – минеральный пейзаж (экспонат музея) (фото Н.А. Мартыновой).

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ ЭКСКУРСИЯ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Мероприятием, открывающим конференцию, стала однодневная научно-популярная экскурсия по маршруту г. Иркутск – пос. Большое Голоустное, проведенная 23 августа 2021 года. Поселок Большое Голоустное расположен на западном берегу озера Байкал, в долине с древней историей и живописной природой, обрамленной горами и рекой Голоустной. Целью экскурсии было показать участникам конференции уникальное природное образование – озеро Байкал. Маршрут экскурсии протянулся по старейшему Голоустенскому тракту, и в пути гостей познакомили с историей заселения этой территории, показали интересные природные и рукотворные объекты. Участники экскурсии узнали о Байкальской рифтовой зоне, особенностях орографии и геологии района. На побережье озера Байкал гости совершили пешую прогулку до скрытого в пади Семениха озера Сухое, образование которого связано с перегораживанием речной долины оползнем-обвалом. По народной примете Сухое озеро наполняется водой раз в четыре года, в високосный год, отсюда и название, в другое время на этом же месте можно застать живописную поляну – дно, густо поросшее травами. Остаток экскурсионного дня гости провели на берегу озера Байкал (рис. 7).



Рисунок 7. Участники научно-популярной экскурсии на побережье озера Байкал (фото Н.А. Соколовой).

НАУЧНО-ПОЛЕВАЯ ПОЧВЕННАЯ ЭКСКУРСИЯ В ЮЖНОЕ ПРИАНГАРЬЕ:
ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ НА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ПОРОДАХ

Финальным мероприятием конференции стала научно-полевая почвенная экскурсия на Братское водохранилище, проведенная 26-29 августа 2021 года с размещением участников на Ангарской биостанции биолого-почвенного факультета ИГУ. Цель экскурсии – знакомство с почвами, почвообразующими породами и природными особенностям Южного Приангарья, а также с историко-культурным наследием и хозяйственной деятельностью на данной территории. Для научно-информационной поддержки экскурсии сотрудниками ИГУ подготовлен и опубликован путеводитель (Южное Приангарье..., 2021), содержащий справочный материал по ландшафтным особенностям территории и результатам лабораторных анализов демонстрируемых почв, часть данных из путеводителя будет представлено ниже.

Территория экскурсионного маршрута расположена в пределах южной пониженной части Среднесибирского плоскогорья, которая представлена на участке г. Иркутск – пос. Залари Иркутско-Черемховской равниной, а на участке с. Нукуты – пос. Балаганск – окраиной Лено-Ангарского плато. Иркутская впадина (северо-восточная часть Иркутско-Черемховской равнины) является зоной мезозойской (в основном юрской) аккумуляции. В настоящее время здесь преобладают эрозионные формы рельефа с пологими водоразделами, что обусловлено слабой устойчивостью юрских пород к выветриванию. Особенностью рельефа окраины Лено-Ангарского плато являются педименты – ступени в рельефе, сформированные в результате неравномерной скорости поднятия плато. Платообразные поверхности педиментов обрываются крутыми склонами к глубоко врезаным речным поймам. Нередко склоны изрезаны оврагами, оканчивающимися в поймах конусами выноса.

Современное почвообразование в Южном Приангарье развивается на породах разного возраста. Делювий юрских пород в районе Иркутско-Черемховской равнины представлен супесчано-легкосуглинистыми бескарбонатными дериватами песчаников и алевролитов и распространен в основном на вершинах водоразделов. Лессовидные (эолово-делювиальные) отложения представлены карбонатными пылеватыми суглинками и приурочены к долине р. Ангары и ее притоков, где они покрывают надпойменные террасы и прилегающие части склонов. Делювий нижне- и верхнекембрийских пород, выходящих на поверхность в бортах речных долин и склонах Лено-Ангарского плато, характеризуется суглинистым составом и высоким содержанием карбонатов, иногда гипса.

Климат региона – резко-континентальный, что определяется положением его в центре Азиатского материка, влиянием Сибирского антициклона и орографической изоляцией. В таких условиях максимальное количество осадков выпадает на горном обрамлении (700-800 мм), а минимальное – в долинах крупных рек (300-250 мм). Среднегодовые температуры в различных частях региона колеблются от -1 до -4 °С. Сумма биологически активных температур составляет от 1200 до 1800 °С·день. Южное Приангарье относится к зоне умеренного увлажнения ($KУ = 0,8-1,0$), где испарение преобладает над осадками, в связи с чем сдерживаются процессы оподзоливания и выщелачивания. В то же время неравномерность выпадения осадков в течение года приводит к развитию поверхностной эрозии.

Экскурсионный маршрут проложен по наиболее пригодной для освоения сельским хозяйством территории, где в пределах северной части Иркутско-Черемховской равнины преобладает лесостепь, а на южной оконечности Лено-Ангарского плато – луговые степи.

Южное Приангарье не испытывало покровного оледенения, но следы криогенных процессов, происходивших в последний ледниковый период (24-11 тыс. лет назад), распространены повсеместно. Наиболее часто палеокриогенез в почвах проявляется в виде трещинно-полигонального и бугристо-западинного рельефа.

Остановка 1. Участок березово-осинового папоротниково-разнотравного леса с бугристо-западинным рельефом. Происхождение микрорельефа связано с палеокриогенезом: в позднем плейстоцене условия способствовали образованию полигональных трещин, заполненных жильным льдом, который позже в голоцене деградировал, а пустоты заполнялись почвенным материалом, снесенным с соседних бугров. Для иллюстрации реликтовых признаков криогенеза рассмотрены профили почв, развитых на бугре (рис. 8 А) и в западине (рис. 8 Б), соответственно.

В профиле почвы, развитой на бугре, выделены подстилка, серогумусовый, субэлювиальный и текстурный горизонты (см. рис. 8 А). Переход к почвообразующей породе резкий по вскипанию от НС1, в профиле почвы карбонатов не обнаружено.

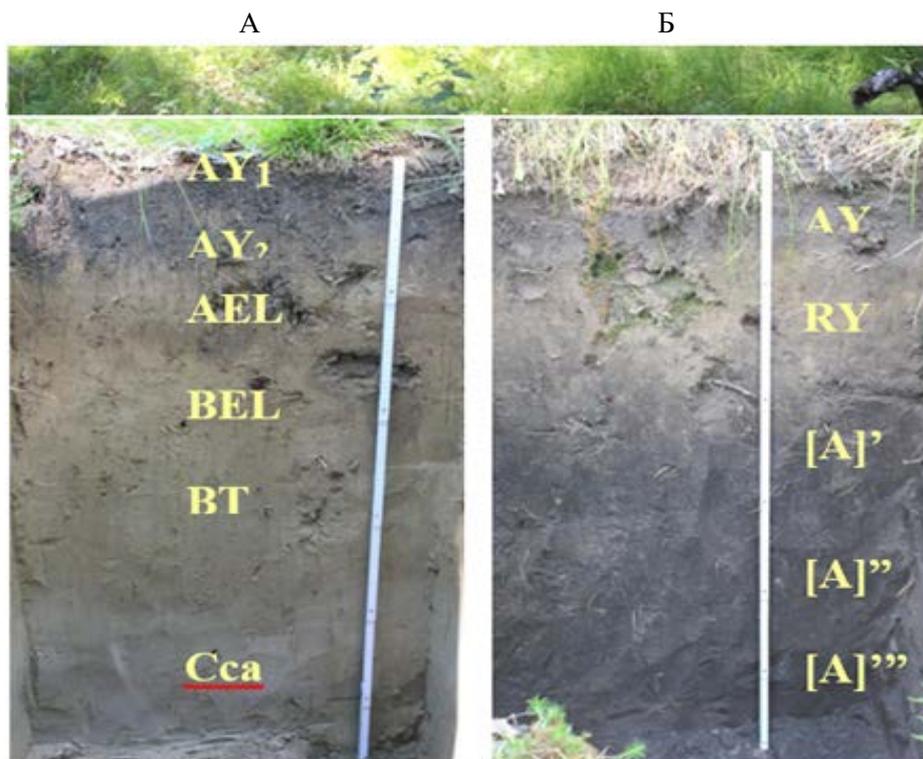


Рисунок 8. Профиль: А – серой типичной почвы на бугре, Б – стратозема серогумусового на погребенной темногумусовой почве (фото А.А. Козловой).

Серогумусовый горизонт отражает современные процессы почвообразования. Текстуальный горизонт выделен по плотности и более тяжелому гранулометрическому составу. Согласно классификации почв России (2004) формула профиля: AY-AEL-BEL-BT-Csa, почва отнесена к стволу постлитогенных, отделу текстурно-дифференцированных и классифицирована как серая типичная карбонатсодержащая среднетонкая легкосуглинистая.

По классификации почв СССР (1977) формула профиля: O-A-AE-BE-Bt-Csa, название почвы – серая лесная остаточно-карбонатная, высококовскипающая.

В профиле почвы, развитой в микрозападине (см. рис. 8, Б), выделена подстилка, серогумусовый горизонт, который залегает на погребенной толще, представленной серией темногумусовых горизонтов. Серогумусовый горизонт является результатом современных почвообразовательных процессов, тогда как погребенные темногумусовые горизонты свидетельствуют об иных условиях почвообразования в эпоху теплого атлантического периода. По классификации почв России (2004) формула профиля: AY-RU, почву можно отнести к стволу синлитогенных, отделу стратоземов и классифицировать как стратозем серогумусовый типичный мелкий легкосуглинистый на погребенной темногумусовой почве. В классификации почв СССР (1977) выделение таких почв не предусмотрено.

Остановка 2. Объект археологического наследия Мальта-Мост 3. В настоящее время на территории Южного Приангарья открыто множество местонахождений позднего палеолита. Археологические раскопки на объекте Мальта-Мост 3 носят охранно-спасательный характер в связи с планом расширения автотрассы Иркутск – Красноярск (участок экскурсионного маршрута Ангарск – Мальта). В стратиграфическом залегании обнаружено 6 культуросодержащих горизонтов (к.г.): 1 и 2 к.г. приурочены к раннеголоценовым отложениям; 3–5 к.г. – к сартанским слабо развитым почвам; 6 к.г. – к каргинской криотурбированной почве.

В строении разреза (рис. 9) отчетливо выражены голоценовые отложения (HL, 0–11,7 тыс. л.н.), представленные современной почвой, сартанские карбонатные лессовидные суглинки (Sr, 11,7–28 тыс. л.н.) со слабо развитыми почвами и криотурбированная каргинская почва (Kr_{cr} ~ 28–30 тыс. л.н.). Сартанская толща и подстилающая ее каргинская почва разбиты морозобойными клиньями, которые прослеживаются примерно каждые 8 м. Кроме того, среди криогенных встречаются структуры смещения криогенных блоков относительно друг друга вследствие скольжения по водоупору или сейсмических событий.



Рисунок 9. Разрез геoarхеологического объекта Мальта-Мост 3 – морозобойные структуры разрывают сартанские отложения с ритмикой ~ 8 м (фото П.Н. Ребрикова).

Остановки 3 и 4. Долина реки Белой. На участке экскурсионного маршрута Мальта – Черемхово дорога пересекает долину левого притока р. Ангары – р. Белой. Левая часть территории Ангарского бассейна характеризуется повышенной сейсмичностью, в связи с чем долина р. Белой разбита на блоки и субблоки, многие из которых имеют перекосы поверхности. Вследствие этого долина р. Белой обладает ассиметричным строением: левый борт ее приподнят, а правый опущен. Сейсмическая активность сопровождается трещиноватостью коренных пород.

Река Белая стекает со склонов Восточного Саяна и, выходя на Иркутско-Черемховскую равнину, отлагает основную массу транспортируемого с гор грубозернистого и песчаного материала. В нижнем течении река прорезает выходящие ближе к поверхности нижнекембрийские доломиты, которые при разрушении практически не дают грубообломочного материала. Таким образом, в нижнем течении в аллювии р. Белой отсутствуют валуны и галька, а легкий гранулометрический состав обусловлен особенностями пород, снесенных с гор Восточного Саяна.

Нижнекембрийские коренные породы, представленные серыми доломитами, обнажаются в левом борту долины р. Белой (рис. 10 А). Наиболее древняя свита нижнекембрийских пород содержит мощные прослои солей, в связи с чем в долине рек Белой и Ангары находятся предприятия по добыче и использованию солей и минеральных вод (курорт «Усолье-Сибирское», предприятие «Водопад» по розливу минеральной воды «Мальтинская», «Новомальтинская»).

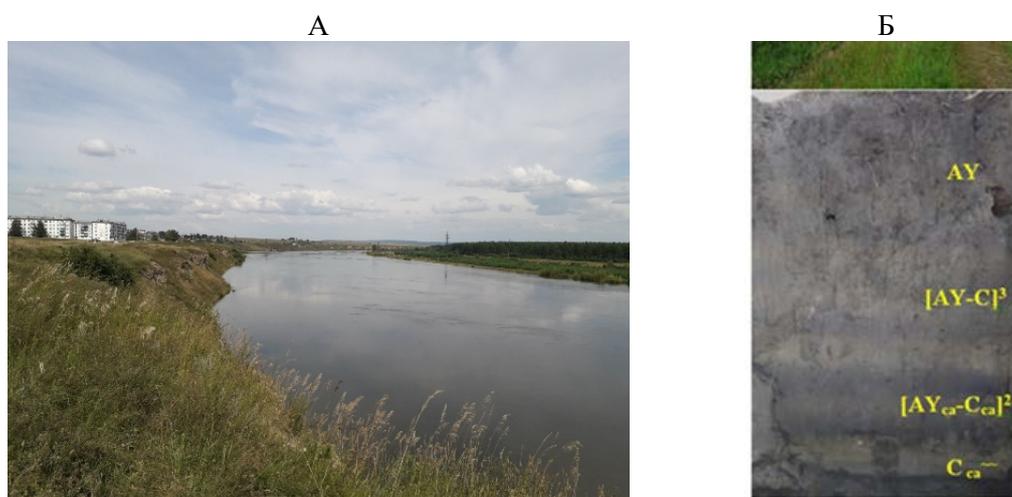


Рисунок 10. Пейзаж и профиль почвы в долине реки Белой: А – выходы нижнекембрийских доломитов в обнажениях левого берега реки, Б – аллювиальная серогумусовая типичная почва (фото С.Л. Куклиной).

Разрез аллювиальной серогумусовой почвы (рис. 10 Б) заложен на высокой пойме р. Белой. В верхней части профиль почвы хорошо биотурбирован и имеет только следы изначальной горизонтальной слоистости. Нижележащая часть профиля представлена чередованием более светлых и темноокрашенных слоев с меньшей турбацией. Реакция среды в верхней части профиля нейтральная, а в нижней приближается к щелочной в связи с увеличением содержания карбонатов. Гранулометрический состав в верхней части супесчано-легкосуглинистый, но с глубиной становится тяжелосуглинистым. Такое широкое варьирование содержания илистой фракции свидетельствует о нестабильном гидрологическом режиме р. Белой. Формула профиля по классификации почв России (2004): АУ-[АУ-С]³-[АУса-Сса]²-Сса~, название почвы – аллювиальная серогумусовая типичная карбонатсодержащая.

По классификации почв СССР (1977) формула профиля: Ад-А₁-С, название почвы – аллювиальная дерновая насыщенная обычная среднemocная.

Остановка 5. Черемховский угольный разрез. На участке экскурсионного маршрута Черемхово – Залари большая часть территории сложена осадочными отложениями юрского возраста, среди которых присутствуют угленосные толщи. Город Черемхово является одним из крупных в Сибири центров по добыче угля. Добыча угля осуществлялась до 1979 г. шахтным способом, позже и до настоящего времени – открытым. В результате угледобычи образованы терриконы – отвалы вскрышных и вмещающих пород (рис. 11 А, Б), подверженные экзогенным процессам – формированию зон скольжения, оползней. Технический этап рекультивации осуществляется через 2-3 года после окончания формирования отвала с целью его усадки. При сельскохозяйственном направлении проводят отсыпку потенциально плодородными породами и плодородным слоем почвы. Биологический этап проводится после технического и включает мелиоративные мероприятия.

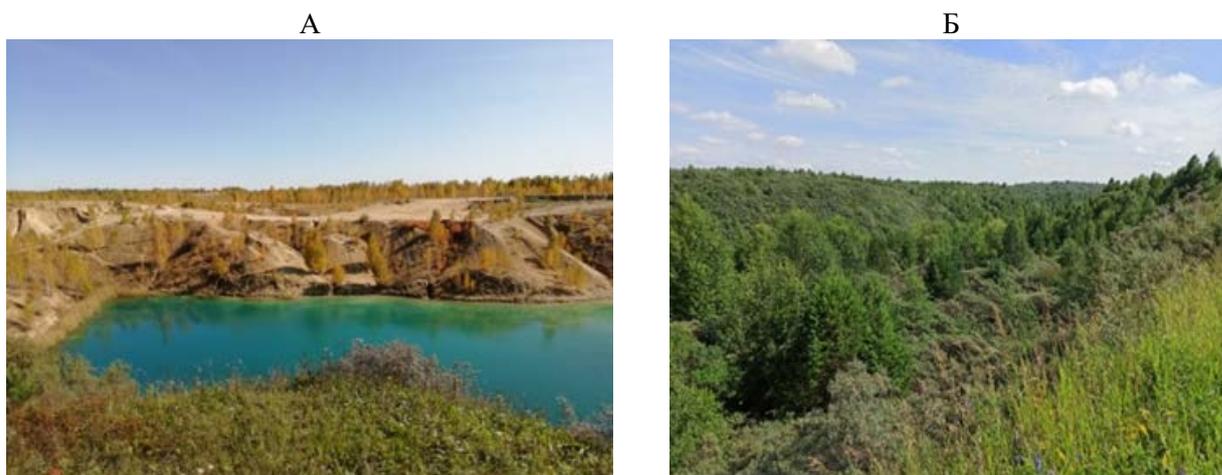


Рисунок 11. Пейзажи Черемховского угольного разреза: А – скальпированная поверхность и карьер, заполненный водой, Б – старые отвалы, заросшие кустарником и лесом (фото С.Л. Куклиной).

Остановка 6. Новонукутский гипсовый рудник. От пос. Залари экскурсионный маршрут поворачивает на север, пересекает Иркутско-Черемховскую равнину и выходит на периферию Лено-Ангарского плато. По ходу маршрута происходит смена желто-серых юрских пород на красноцветные породы верхнего кембрия. В макрорельефе появляются характерные для окраины Лено-Ангарского плато педименты. Индикаторами ландшафта на красноцветных верхнекембрийских породах являются клубничные, сазовые и настоящие ковыльные степи. Хотя территория и относится к лесостепи, распространение леса ограничивается теневыми северными и северо-восточными склонами. На рассматриваемой территории отмечено карстообразование, связанное с распространением сульфатсодержащих пород, среди которых встречаются прослойки гипса. Карбонатсодержащие породы менее подвержены растворению и образованию карста. Гипсоносность исследуемой территории известна с XVIII века, когда началась разработка Тыреть-Балаганской группы месторождений. С 1999 г. в связи с появлением новых технологий производства строительных материалов на основе гипса активно разрабатывается Новонукутское месторождение гипса (рис. 12).



Рисунок 12. Карьеры Новонукутского гипсового рудника (фото Н.Д. Киселевой)

Остановка 7. Почвы в долине реки Унга. Река Унга, как и другие реки на участке Залари – Балаганск, имеет неглубокую долину, малую водность, повышенную минерализацию вод вследствие распространения гипсосодержащих пород. Равнинные участки и долины рек на данной территории в основном остепнены; количество осадков за год снижается до 275 мм.

Разрез чернозема дисперсно-карбонатного загипсованного тяжелосуглинистого (рис. 13 А) заложен у подножия террасированного склона северо-восточной экспозиции. В профиле почвы четко выделяется темногумусовый горизонт, срединный горизонт с повышенным содержанием карбонатов и переходный к почвообразующей породе гипсосодержащий горизонт. Красноцветная почвообразующая порода представляет собой тяжелосуглинистый делювий верхнекембрийских пород. Вскипание от карбонатов наблюдается с поверхности, а максимум фиксируется в срединном горизонте на глубине 40-50 см (до 20%). Содержание гипса возрастает с 2% в верхних горизонтах до 10% в срединной толще. Реакция среды связана с содержанием карбонатов и гипса и с нейтральной в верхнем горизонте меняется на щелочную к горизонту ВСА. Высокое содержание гумуса и постепенное убывание его вниз по профилю характерно для черноземов. Формула профиля по классификации почв России (2004): AUca-BCAdc-BCcs, ca-Ccs,ca.

По классификации почв СССР (1977) формула профиля: A(ca)-B1(ca)-BC(cs,ca)-Cca,cs, название почвы – дерново-карбонатная типичная гипсосодержащая многогумусная среднемогучая.

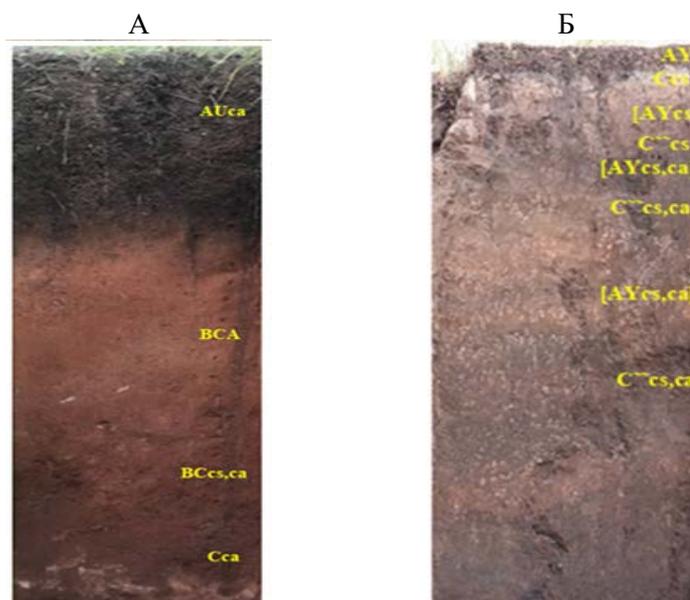


Рисунок 13. Профиль: А – чернозема дисперсно-карбонатного загипсованного, Б – серогумусовой типичной засоленной почвы (фото Н.Д. Киселевой).

Разрез серогумусовой типичной засоленной почвы (рис. 13 Б) заложен на береговой линии реки Унга. В профиле выделяется серогумусовый горизонт и нижележащий красновато-бурый

горизонт аллюво-делювия; ниже выделены несколько погребенных темногумусовых горизонтов, чередующихся с более светлыми. Поверхность темногумусового погребенного горизонта нарушена морозобойными трещинами. В темногумусовых горизонтах присутствуют светлые пятна мучнистого гипса, напоминающие «гажу» – рыхлую белесоватую породу с преобладанием мелкокристаллического гипса. Показатель рН в профиле меняется от нейтрального в верхней части профиля до щелочного в срединной части, а затем снова плавно снижается. Максимальное количество растворимых солей сосредоточено в верхних 60 см (до 3,12%); тип засоления – сульфатно-кальциевый. Содержание карбонатов отличается равномерностью и колеблется в пределах 6–8%. Формула профиля по классификации почв России (2004): AY-Ccs-[AYcs]-C~cs-[AYcs,ca]-C~cs,ca.

По классификации почв СССР (1977) формула профиля: Ad-C-[A]-C-[A]-C-[A]-C, название почвы – дерново-карбонатная засоленная.

Остановка 8. Окрестности поселка Балаганск. Поселок Балаганск, который является конечной частью экскурсионного маршрута, расположен на левом берегу Братского водохранилища. Одним из негативных последствий появления водохранилища стало увеличение количества ветреных дней, что уменьшает количество влаги в почвах. Более серьезным ущербом для сельского хозяйства стало отчуждение земель с плодородными почвами в поймах и на террасах р. Ангара и ее притоков при строительстве ГЭС. Вовлеченными в сельскохозяйственный оборот стали маломощные черноземы, серые метаморфические почвы и буроземы.

Проблема потери земель сельхозгодной стоит и в настоящее время из-за абразии берегов Братского водохранилища. Кроме того, местами пашни расположены на крутых склонах, где активно идут процессы эрозии и смыв гумусированного материала.

Разрез чернозема мицеллярно-сегрегационного насыщенного мелкого тяжелосуглинистого (рис. 14 А) выполнен в привершинной части склона южной экспозиции крутизной около 5° к юго-западу от пос. Балаганск. Верхний маломощный темногумусовый горизонт по вскипанию от карбонатов разделен на два субгоризонта: верхний, мощностью 10 см – не вскипает; с глубины 10 см наблюдается слабое вскипание от HCl. Срединный аккумулятивно-карбонатный горизонт вскипает бурно, по формам проявления карбонатов также разделяется на два субгоризонта: в верхней части слабовыраженный псевдомицелий, в нижней кроме белесых вкраплений формируется белоглазка. Почвообразующая порода представлена красновато-коричневым среднесуглинистым элюво-делювием верхнекембрийских пород, включает сильно выветрелый плитняк алевролитов и бурно вскипает от HCl. Формула профиля по классификации почв России (2004): AU₁-AU₂-BCA_{1mc}-BCA_{2nc}-BC_{nc}-Cca,ro. Щелочная реакция среды обусловлена высокой карбонатностью почвообразующих пород и в верхней части профиля характеризуется как слабощелочная, а в нижней достигает сильнощелочных значений. Распределение гумуса: максимально в верхней части, а затем плавно снижается. В связи с этим почва обладает достаточно высоким уровнем естественного плодородия.

По классификации почв СССР (1977) формула профиля: A₁-A₂-B_{1ca}-B_{2ca}-BC_{ca}-C_{ca}, название почвы – чернозем обыкновенный умеренно-промерзающий высоковскипающий.

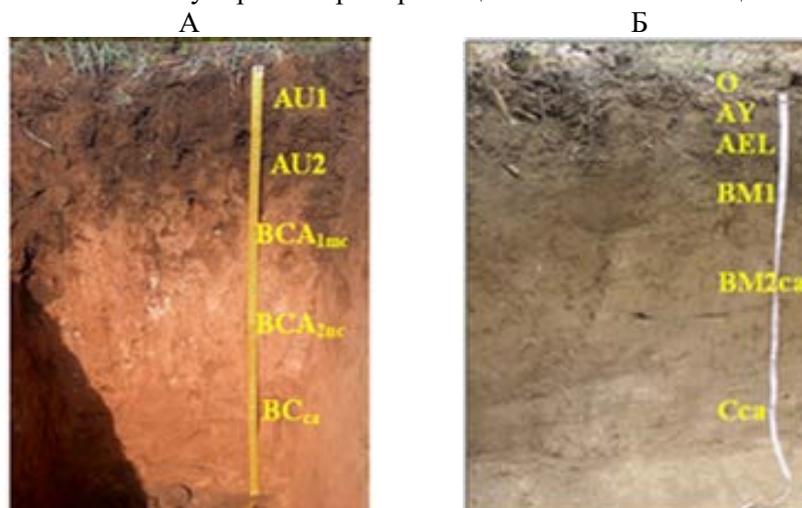


Рисунок 14. Профиль: А – чернозема мицеллярно-сегрегационного насыщенного, Б – серой метаморфической почвы (фото С.Л. Куклиной).

Разрез серой метаморфической почвы (рис. 14 Б) заложен к юго-востоку от береговой линии Братского водохранилища в средней части пологого склона северной экспозиции крутизной около 3° под сосновым лесом. В профиле почвы выделены серогумусовый горизонт, срединный метаморфический горизонт и карбонатсодержащая почвообразующая буровато-желтая порода. Срединный горизонт по содержанию карбонатов разделяется на два субгоризонта: верхний, бескарбонатный, и нижний, содержащий карбонаты в виде псевдомицелия и точечных скоплений. Отсутствие красных оттенков в профиле почвы объясняется перекрытием красноцветных верхнекембрийских пород эоловыми и эолово-делювиальными лессовидными отложениями. В связи с присутствием подстилки реакция среды в профиле почвы изменяется от кислой в верхней части до щелочной в нижней. Дифференциации профиля по гранулометрическому составу не наблюдается; преобладающими фракциями являются мелкий песок и крупная пыль. Формула профиля по классификации почв России (2004): O-A_У-AEL-BM1-BM2ca-Cca.

По классификации почв СССР (1977) формула профиля: O-A-AE-B₁-B₂-Cca, название почвы – серая лесная остаточного-карбонатная маломощная высококислотная.

Таким образом, в ходе научно-полевой экскурсии были рассмотрены почвы, развитые на разновозрастных породах: нижнего кембрия, верхнего кембрия, юрских отложениях, кайнозойских отложениях. Особенности почв связаны не только со свойствами почвообразующих пород, но и способом формирования отложений (эоловые, эолово-делювиальные, аллювий и т.д.).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны всем сотрудникам кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ за организацию и проведение научно-практической конференции, научно-популярной экскурсии на побережье озера Байкал и научно-полевой почвенной экскурсии по Южному Приангарью.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Конференция организована и проведена на базе кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Иркутского государственного университета при поддержке Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и Иркутского отделения Общества почвоведов им. В.В. Докучаева.

Статья выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН в рамках участия сотрудников Института в работе конференции при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Калинин П.И., Ельцов М.В., Шарый П.А., Митенко Г.В., Малышев В.В. *Ретроспективный анализ изменений почв степной зоны Восточно-европейской равнины в условиях глобальных изменений климата* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 80–84.
2. Алексеев А.А., Чевычелов А.П., Кузнецова Л.И. *Магнитная восприимчивость мерзлотных палеовых почв Центральной Якутии* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 70–74.
3. Алексеев А.А., Чевычелов А.П. *Магнитная восприимчивость мерзлотных черноземов Центральной Якутии* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 75–79.
4. Алексеева Т.В., Алексеев А.О. *Палеопочва на коре выветривания железистых кварцитов докембрия (район КМА)* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 211–215.
5. Апарин Б.Ф. *Концепция создания биосферного полигона почвенно-экологического мониторинга лесных экосистем* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 18–23.
6. Бадмаев Н.Б., Гынинова А.Б., Цыбенков Ю.Б. *Координатный анализ и определение климатических ниш почв на южной границе криолитозоны Забайкалья* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 85–90. (а)

7. Бадмаев Н.Б., Дугаржапова З.Ф., Очиров О.Н., Цыдыпов Б.З. *Алгоритм информационно-поисковой системы для выявления заброшенных скотомогильников в условиях островной мерзлоты* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 225–229. (6)
8. Безуглова О.С. *Гумусное состояние черноземов остепняющихся территорий* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 24–27.
9. Бурачевская М.В., Минкина Т.М., Бауэр Т.В., Северина В.И. *Влияние биочара на адсорбционную способность чернозема обыкновенного при загрязнении медью* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 343–346.
10. Воробьева Г.А. *Регионализм педогенеза в Байкало-Енисейской Сибири* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 28–39.
11. Гертман Л.Н., Глинская А.Н., Мажайский Ю.А. *Охрана водных ресурсов путем установления особого режима хозяйственной деятельности на прилегающих землях* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 357–361.
12. Горохова С.М., Васильев А.А. *Тяжелые металлы в конкрециях и магнитных частицах в дерново-подзолистых почвах* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 362–366.
13. Градина Н.И., Мартынова Н.А. *Кафедра почвоведения игу: основные вехи развития иркутской школы почвоведения и направления исследования почв* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 40–55.
14. Гребенщиков В.Ю. *Некоторые аспекты повышения эффективности использования залежных земель в Иркутской области* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 371–374.
15. Добрянская С.Л. *Изменение агрофизических свойств чернозёма выщелоченного при длительном сельскохозяйственном использовании* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 384–386.
16. Дюкарев А.Г., Климова Н.В., Никифоров А.Н., Чернова Н.А., Копысов С.Г. *Цикличность почвообразования в лесных экосистемах* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 104–108.
17. Жученко Н.А., Лопатина И.Н., Чебыкин А.П. *Распределение макро- и микроэлементов в дерново-подбурях юго-западной части Приморского хребта (Иркутская область)* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 246–250.
18. Заварзина А.Г. *Гумусовые вещества: проблемы терминологии, классификации и генезиса* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 109–113.
19. Киселева Н.Д., Сташкевич А.С. *Почвенные ресурсы и морфоаналитические особенности некоторых почв Нукутского района (Южное Приангарье)* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 409–414.
20. *Классификация и диагностика почв СССР* / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. М.: Колос, 1977. 224 с.
21. *Классификация почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
22. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. *Биохимия лигнина в почвах: перспективы исследований* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 114–118.
23. Ковалева Н.О. *Горные почвы как планетарные архивы информации* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 261–264.
24. Козлова А.А., Приставка А.А. *Применение методов статистического анализа при изучении особенностей формирования и функционирования почв Южного Предбайкалья* // Почва как связующее

звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 119–123.

25. Куклина С.Л., Воробьева Г.А. *Проблемы классификации и записи формул строения профилей аллювиальных почв России* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 134–137.

26. Лесовая С.Н. *Маломощные щелбнистые почвы на плотных породах Сибири* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 142–145.

27. Лиханова И.А., Кузнецова Е.Г., Лаптева Е.М., Денева С.В. *Изменение почв на начальных этапах искусственного лесовосстановления в подзоне средней тайги (Республика Коми)* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 146–148.

28. Макеев А.О. *Этапы криогенного почвообразования в геологической истории Земли* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 56–58.

29. Мартынова Н.А. *Биогеохимические особенности почвообразования в реализации экосистемных функций фосфоритоносных ландшафтов Монголии Байкальской рифтовой зоны* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 149–153.

30. Нечаева Т.В., Якутина О.П. *Содержание обменных катионов в почвах склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 483–487.

31. Никифоров А.Н., Дюкарев А.Г., Климова Н.В., Копысов С.Г., Чернова Н.А. *Сукцессионная динамика почвообразования в пихтовых лесах на юге Западной Сибири* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 154–158.

32. *Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Году Байкала / ФГБОУ ВО «ИГУ»; [под ред. Н.Д. Киселевой]. – Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. 584 с.*

33. Приходько В. Е., Азаренко Ю. А., Михаревич М. В. *Междисциплинарное изучение археологических геоархивов раннего средневековья для реконструкции почв, ландшафтов и климата (некрополь Сростки-1, Алтайский край)* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 299–303.

34. Русакова Е.А. *История формирования коллекции почв Дальневосточного региона в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 507–511.

35. Снытко В.А., Белозерцева И.А. *Учитель и ученик: почвоведы И.В. Николаев и В.А. Кузьмин* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 185–189.

36. Соколова Н.А. *Факторы дифференциации почвенного покрова в техногенных ландшафтах отвалов антрацитовых месторождений* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 519–523.

37. Сорокина О.А., Ондар Д.С. *Динамика плодородия почв пашни и залежи Республики Тыва* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 524–528.

38. Сухачева Е.Ю. *Структура почвенного покрова как отражение антропогенного воздействия на лесные ландшафты* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 195–200.

39. Убугунова В.И., Убугунов Л.Л., Убугунов В.Л. *Почвы пойм Охотско-Монгольского орогенного пояса: мультидисциплинарные подходы к изучению* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 59–63.

40. Фомичева Д.В., Жидкин А.П. *Ретроспективный анализ и картографирование эродированности почвенного покрова (на примере ключевого участка в Московской области)* // Почва как связующее звено

функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 532–536.

41. Хадеева Е.Р., Лопатовская О.Г., Ткачук Т.Е., Сараева Л.И. *Засоленные почвы северо-восточного побережья оз. Барун-Торей заповедника «Даурский»* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 537–541.

42. Чевычелов А.П., Алексеев А.А., Ермолаева С.В. *Генезис, классификация и разнообразие мерзлотных почв Центральной Якутии* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 201–205.

43. Черникова О.В., Мажайский Ю.А., Амплеева Л.Е. *Изменение каталазной активности оподзоленного чернозема, загрязненного поллютантами, при его детоксикации* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 560–563.

44. Шергина О.В., Михайлова Т.А., Миронова А.С., Бадрянова В.В. *Подходы к оценке экосистемных функций древесных растений и почв городских лесов* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 568–572.

45. Шпедт А.А., Злотникова В.В. *Природно-ресурсный потенциал земледельческой территории Канского округа Красноярского края* // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: матер. V Междунар. конф. (Иркутск, 23-29 августа 2021 г.). Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 64–68.

46. *Южное Приангарье: особенности почвообразования на разновозрастных породах* / Путеводитель экскурсии к конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения ИГУ / С.Л. Куклина, Г.А. Воробьева, А.А. Козлова, Н.Д. Киселева, О.Г. Лопатовская, Н.А. Мартынова, С.В. Коршунова; [отв. ред.: С.Л. Куклина, Г.А. Воробьева]. – Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. – 71 с.

Поступила в редакцию 11.12.2021

Принята 11.12.2021

Опубликована 16.12.2021

Сведения об авторах:

Нечаева Таисия Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); nechaeva@issa-siberia.ru

Соколова Наталья Александровна – младший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв и руководитель Почвенного музея ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия), nsokolova@issa-siberia.ru

Киселева Наталья Дмитриевна – старший преподаватель базовой кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет (Иркутск, Россия); nata_kis71@list.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

INTERNATIONAL CONFERENCE «SOIL AS INTERLINK FOR FUNCTIONING OF NATURAL AND ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED ECOSYSTEMS» DEVOTED TO THE 90TH ANNIVERSARY OF THE DEPARTMENT OF PEDOLOGY AND LAND RESOURCES ESTIMATION, IRKUTSK STATE UNIVERSITY AND THE YEAR OF BAIKAL

© 2021 T.V. Nechaeva ¹, N.A. Sokolova ¹, N.D. Kiseleva ²

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: nechaeva@issa-siberia.ru; nsokolova@issa-siberia.ru

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia. E-mail: nata_kis71@list.ru

From August 23 to August 29, 2021, Irkutsk hosted the Vth International Scientific and Practical Conference "Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems" (hereinafter – the conference) dedicated to the 90th anniversary of the Department of Soil Science and Land Resources

Assessment of the Irkutsk State University (ISU) and the Year of Baikal. The total number of participants of the conference was 130 from 27 regions of Russia and 6 other countries (the Republic of Belarus, Bulgaria, Georgia, Moldova, Lebanon and Lithuania). The article presents a brief review of plenary and sectional reports on the following research topics: 1) theoretical soil science: genesis, evolution, classification problems; 2). multidisciplinary approaches of soil science related to the use of soil science methods in other research areas and scientific and industrial areas; 3) Soil resources and land assessment (fertility, degradation, land reclamation, qualitative and economic assessment, ecology and land protection). A total of 43 presentations were given at the conference: 8 plenary and 35 sectional. The interested reader will find a detailed description of the reports presented in this review, as well as other and other conference materials in the collection "Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems" (2021).

A brief description of two excursions is given: (1) one excursion to the beautiful scenery at the shore of the Lake Baikal, held on August 23, 2021; (2) and another excursion at the Bratsk Reservoir on August 26-29, 2021. The purpose of the excursions was to get acquainted with the nature and historical and cultural heritage of the Irkutsk region, Lake Baikal, as well as with soils, soil-forming rocks and natural features of the Southern Angara region. During the excursion tour, landscapes, rock outcrops and soil sections were presented: soils on a bumpy-depression relief; Paleolithic site of ancient man "Malta" with sections near the geoarchaeological objects "Malta-Bridge 3"; alluvial gray-humus soil in the floodplain of the Belaya River; exposure of Lower Cambrian rocks near the village Novomaltinsk; Cheremkhovsky coal mine; dispersed-carbonate gypseous chernozem near the Unga River; Novonukutsky gypsum mine; gray metamorphic soil and micellar-segregational chernozem on the bank of the Bratsk reservoir near the village Balagansk. At the end of the tour, the conference participants held a roundtable discussion about the problems of genesis and classification of the soils of the south of the Near-Angara region. The classification position of all the presented soils was justified within the framework of two classification systems: Classification of soils of Russia (2004) and Classification and diagnostics of soils of the USSR (1977). For scientific and informational support of the excursion, the guide "Southern Pre-Angara region: features of soil formation on rocks of different ages" (2021) was prepared and published.

The conference aroused great interest among a wide range of specialists in the field of soil science, agrochemistry and ecology, land resource assessment, landscape studies, etc. The organization of such events promotes exchange of experience and strengthens the cooperation between researchers from leading universities and research centers, advancing the effective development of soil science, research methodology and practice, generalizing the information about soil as a link between the functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems.

Key words: *pedogenesis; soil cover; landscapes; erosion; salinization; soil properties; palaeosols; permafrost; agrocenosis; fallow lands; recultivation; monitoring; macro- and microelements; humus substances; lignin; museum of soil science.*

How to cite: *Nechaeva T.V., Sokolova N.A., Kiseleva N.D. International conference «Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems» devoted to the 90th anniversary of the department of pedology and land resources estimation, Irkutsk State University and year of Baikal // The Journal of Soils and Environment. 2021. 4(3). e155. doi: [10.31251/pos.v4i3.155](https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.155) (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Alekseev A.O., Alekseeva T.V., Kalinin P.I., Yeltsov M.V., Sharyj P.A., Mitenko G.V., Malyshev V.V. *Retrospective analysis of soil changes in the steppe zone of the East European plain in the context of global climate change // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 80–84. (in Russian)*
2. Alekseev A.A., Chevychelov A.P., Kuznetsova L.I. *Magnetic susceptibility of permafrost pale soils of Central Yakutia // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 70–74. (in Russian)*
3. Alekseev A.A., Chevychelov A.P. *Magnetic susceptibility of permafrost chernozems of Central Yakutia // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 75–79. (in Russian)*
4. Alekseeva T., Alekseev A.O. *Palaeosol on pre-ambrian weathering crust of iron bearing quartzite (Kursk magnite anomaly) // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 211–215. (in Russian)*

5. Aparin B.F. *The concept of creating a biosphere polygon for soil and ecological monitoring of forest ecosystem* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 18–23. (in Russian)
6. Badmaev N.B., Gyninova A.B., Tsybenov Yu.B. *Coordinate analysis and determination of the parameters of climatic niches of soils at the southern border of the cryolithozone of the Transbaikalye* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 85–90. (a) (in Russian)
7. Badmaev N.B., Dugarzhapova Z.F., Ochirov O.N., Tsydypov B.Z. *Algorithm of the information search system for identification of abandoned dead piles in the conditions of the insular permafrost* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 225–229. (6) (in Russian)
8. Bezuglova O.S. *Humus state of Chernozem of the steppization territories* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 24–27. (in Russian)
9. Burachevskaya M.V., Minkina T.M., Bauer T.V., Severina V.I. *Effect of biochar on the adsorption capacity of haplic chernozem when contaminated with heavy metals* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 343–346. (in Russian)
10. Vorobyeva G.A. *Regionalism of pedogenesis in the Baikal-Yenisei Siberia* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 28–39. (in Russian)
11. Hertman L.N., Glinskaya A.N., Mazhaisky Y.A. *Protection of water resources by establishing a special regime of economic activities on the adjacent territory* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 357–361. (in Russian)
12. Gorokhova S.M., Vasiliev A.A. *Heavy metals in concretions and magnetic particles in sod-podzolic soil of the perm district of the Perm region* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 362–366. (in Russian)
13. Granina N.I., Martynova N.A. *Department of soil science of ISU: the main milestones in the development of the irkutsk school of soil science and the directions of soil research* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 40–55. (in Russian)
14. Grebenshikov V.Yu. *Some aspects of increasing the efficiency of using lea lands in Irkutsk region* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 371–374. (in Russian)
15. Dobryanskaya S.L. *Change in the agrophysical properties of leached chernozem during long agricultural use* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 384–386. (in Russian)
16. Dyukarev A.G., Klimova N.V., Nikiforov A.N., Chernova N.A., Kopysov S.G. *Cyclicality of soil formation in forest ecosystems* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 104–108. (in Russian)
17. Zhuchenko N.A., Lopatina I.N., Chebykin F.P. *Distribution of macro- and micro-elements in the sod podburs of the southwestern part of the Primorsky range (Irkutsk region)* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 246–250. (in Russian)
18. Zavarzina A.G. *Substances of humus: problems of terminology, classification and genesis* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 109–113. (in Russian)
19. Kiseleva N.D., Stashkevich A.S. *Soil resources and morpho-analytic features of some soils of the Nukutsk district (South Priangare)* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 409–414. (in Russian)
20. *Soil classification and diagnostics of the USSR* / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Friev. M.: Kolos Publ., 1977, 224 p. (in Russian)
21. *Soil classification of Russia* / Authors and compilers: L.L. Scishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova. Smolensk: Oykumena Publ., 2004, 342 p. (in Russian)

22. Kovalev I.V., Kovaleva N.O. *Biochemistry of lignin in soils: prospects for research* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 114–118. (in Russian)
23. Kovaleva N.O. *Mountain soils as planetary archives of information* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 261–264. (in Russian)
24. Kozlova A.A., Pristavka A.A. *The application of methods of statistical analysis in studying the features of formation and functioning of soils in the Southern Prebaikalya* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 119–123. (in Russian)
25. Kuklina S. L., Vorobyova G. A. *Problems of classification and recording of formulas for the structure of profiles of alluvial soils in Russia* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 134–137. (in Russian)
26. Lessovaia S.N. *Shallow stony soils from the solid rocks of Siberia* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 142–145. (in Russian)
27. Likhanova I.A., Kuznetsova E.G., Lapteva E.M., Deneva S.V. *The changes in soils at the initial stages of artificial reforestation in the middle taiga subzone (Komi republic)* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 146–148. (in Russian)
28. Makeev A.O. *Cryogenic soils in the geological history of the Earth* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 56–58. (in Russian)
29. Martynova N.A. *Biogeochemical features of soil formation in the implementation of ecosystem' functions of phosphorite-bearing landscapes of Mongolia of the Baikal rift zone* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 149–153. (in Russian)
30. Nechaeva T.V., Yakutina O.P. *Content of exchangeable cations in soils within erosive agrolandscape in the southern West Siberia* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 483–487. (in Russian)
31. Nikiforov A.N., Dyukarev A.G., Klimova N.V., Kopysov S.G., Chernova N.A. *Successional soil formation dynamics in abies sibirica forests in the south of Western Siberia* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 154–158. (in Russian)
32. *Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems*: Proceedings of the V International conference devoted to 90th anniversary of the department of pedology and land resources estimation, Irkutsk State University and Year of Baikal. – Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, 584 p. (in Russian)
33. Prikhodko V.E., Azarenko Yu.A., Mikharevich M.V. *Interdisciplinary study of archaeological geoarchives of the early medieval age for reconstruction of soils, landscapes and climate (necropolis Srostki-I, Altai, south of Western Siberia)* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 299–303. (in Russian)
34. Rusakova E.A. *The history of the formation of the collection of soils of the far Eastern region in the Central soil museum by V.V. Dokuchaev* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 507–511. (in Russian)
35. Snytko V.A., Belozertseva I.A. *Teacher and student: soil scientists I.V. Nikolaev and V.A. Kuzmin* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 185–189. (in Russian)
36. Sokolova N.A. *Factors of soil cover differentiation in man-caused landscapes of anthracite-mine dumps* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 519–523. (in Russian)
37. Sorokina O.A., Ondar D.S. *Dynamics of fertility of soils in around and lands of the Republic of Tyva* // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021). Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 524–528. (in Russian)

38. Sukhacheva E.Yu. *Soil cover patterns as a reflection of anthropogenic impact on forest landscapes // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021)*. Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 195–200. (in Russian)
39. Ubugunova V.I., Ubugunov L.L., Ubugunov V.L. *Soils of the floodplains of the Okhotsk-Mongolian orogenic belt: multidisciplinary approaches to the study // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021)*. Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 59–63. (in Russian)
40. Fomicheva D.V., Zhidkin A.P. *Mapping of erodificity of soil cover based on historical analysis of changes in the intensity of soil erosion through time (case study of eldigino, Moscow region) // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021)*. Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 532–536. (in Russian)
41. Khadeeva E.R., Lopatovskaya O.G., Tkachuk T.E., Saraeva L.I. *Saline soils of the north-eastern coast the lake Barun-Torey the Daurisky reserve (cape Myrgen) // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021)*. Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 537–541. (in Russian)
42. Chevychelov A.P., Alekseev A.A., Ermolaeva S.V. *Genesis, classification and diversity of permafrost soils in Central Yakutia // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021)*. Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 201–205. (in Russian)
43. Chernikova O.V., Mazhayskiy Yu.A., Ampleeva L.E. *Changes in the catalase activity of podzolized chernozem contaminated with pollutants, when it is detoxified // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021)*. Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 560–563. (in Russian)
44. Shergina O.V., Mikhailova T.A., Mironova A.S., Badryanova V.V. *Approaches to assessment of ecosystem functions of trees and soils in urban forests // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021)*. Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 568–572. (in Russian)
45. Shpedt A.A., Zlotnikova V.V. A.A. *Natural resource potential of agricultural territory of the Kansky district of the Krasnoyarsk region // Soil as interlink for functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems: Proceedings of the V International conference (Irkutsk, 23-29 August 2021)*. Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, p. 64–68. (in Russian)
46. *Southern Pre-Angara region: features of soil formation on rocks of different ages / Guidebook of the field soil excursion of the scientific conference devoted to 90th anniversary of the department of pedology and land resources estimation, Irkutsk state university / Compiled by: S.L. Kuklina, G.A. Vorobyeva, A.A. Kozlova, N.D. Kiseleva, O.G. Lopatovskaya, N.A. Martynova, S.V. Korshunova; [Kuklina S.L., Vorobyeva G.A. (ed.)]. – Irkutsk: Publishing House of ISU, 2021, 71 p. (in Russian)*

Received 11.12.2021

Accepted 11.12.2021

Published 16.12.2021

About the author(s):

Nechaeva Taisia Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); nechaeva@issa-siberia.ru

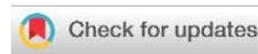
Sokolova Natalia Aleksandrovna – Researcher in the Laboratory of Soil Geography and Genesis and Head of Soil Museum, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia), nsokolova@issa-siberia.ru

Kiseleva Natalia Dmitrievna – Senior Lecturer at the department of Pedology and Land Resources Estimation, Irkutsk State University (Irkutsk, Russia), nata_kis71@list.ru

The authors read and approved the final manuscript



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

**СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ ДЕНИСА АЛЕКСАНДРОВИЧА ГАВРИЛОВА –
КОЛЛЕГИ И ДРУГА – ПОСВЯЩАЕТСЯ**© 2021 Т. В. Нечаева ¹, Н. Б. Наумова ¹, Д. А. Соколов ¹, В. А. Степанова ¹,
Н. Г. Коронатова ¹, С. В. Лойко ², В. Н. Якименко ¹¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: nechaeva@issa-siberia.ru²ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет, проспект Ленина,
36, г. Томск, 36634050, Россия. E-mail: s.loyko@yandex.ru

Статья посвящена памяти Дениса Александровича Гаврилова – кандидата биологических наук, старшего научного сотрудника Института почвоведения и агрохимии СО РАН, редактора журнала «Почвы и окружающая среда» – скоропостижно скончавшегося 26 августа 2021 года. Представлены сведения о его научной и общественно-педагогической деятельности, приведены основные результаты и публикации по почвенным и почвенно-археологическим исследованиям, выполненным как самостоятельно, так и совместно с другими учеными из учреждений науки и высшего образования Российской Федерации и Республики Казахстан.

Ключевые слова: ученый; почвоведение; археология; педогенез; палеопочвы; фитолиты; микробиоморфы; реконструкция; климат; Сибирь; Казахстан

Цитирование: Нечаева Т.В., Наумова Н.Б., Соколов Д.А., Степанова В.А., Коронатова Н.Г., Лойко С.В., Якименко В.Н. Светлой памяти Дениса Александровича Гаврилова – коллеги и друга – посвящается // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 3. е158. doi: [10.31251/pos.v4i3.158](https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.158)



26 августа 2021 года скоропостижно скончался **Гаврилов Денис Александрович** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН, выпускающий редактор научного журнала «Почвы и окружающая среда» (ПОС), перспективный, талантливый ученый и просто хороший человек.

Денис Александрович родился 9 октября 1983 года в городе Кокшетау Акмолинской области Республики Казахстан (РК). В этом же городе он закончил среднюю общеобразовательную школу № 12 и поступил в 2000 г. на историко-филологический факультет Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева (г. Петропавловск, РК). В 2005 г. Д.А. Гаврилов закончил университет с присвоением квалификации учителя истории и географии, получив диплом с отличием, а также сертификат лучшего выпускника университета 2005 года с занесением в студенческую книгу Почета.

Продолжив свое обучение в магистратуре по специальности «Археология и этнология» в Евразийском национальном университете им. Л.Н. Гумилева (г. Астана, РК), в 2007 г. Денис Александрович защитил магистерскую диссертацию по теме «Историко-культурная ситуация и эволюция природной среды на территории Северного и Центрального Казахстана во второй половине голоцена», получив диплом с отличием о высшем научно-педагогическом образовании и присвоении квалификации магистра археологии и этнологии.

Свою трудовую деятельность Д.А. Гаврилов начал в 2005 г. в должности преподавателя географии Гуманитарного лицея им. А.З. Молдахметова и Гуманитарного колледжа при Казахстанско-Российском университете (г. Астана, РК). В 2007 г. он был принят на должность научного сотрудника Института археологии им. К.А. Акишева при Евразийском национальном университете им. Л.Н. Гумилева (г. Астана, РК).

С 2008 по 2011 годы Денис Александрович обучался в аспирантуре ИПА СО РАН под научным руководством доктора биологических наук, профессора М.И. Дергачевой, в 2011 г. успешно защитил диссертацию на тему «Сохранность признаков педогенеза разных условий погребения палеопочв и отложений» (Гаврилов, 2011) по специальности 03.00.27 «Почвоведение» с присвоением ученой степени кандидата биологических наук. После окончания аспирантуры и защиты диссертации Д.А. Гаврилов продолжил свою научно-исследовательскую деятельность в ИПА СО РАН, сначала в должности младшего научного сотрудника лаборатории биогеоценологии (2011-2017 гг.), а затем – старшего научного сотрудника лаборатории географии и генезиса почв (2017-2021 гг.). В то же время Денис Александрович не прекращал заниматься педагогической деятельностью, работая учителем географии в средней общеобразовательной школе № 190 города Новосибирска, а также доцентом кафедры географии, регионоведения и туризма Новосибирского государственного педагогического университета, читая курсы лекций и проводя практикумы по предмету «Биогеография».

Профессиональная деятельность Дениса Александровича была связана с изучением широкого круга вопросов в различных областях науки: почвоведении, археологии, географии, биологии, геологии и др. Он являлся организатором и участником научных мероприятий разного уровня (симпозиумы, съезды, конференции, школы), проводившихся как в ИПА СО РАН, так и в других учреждениях науки и высшего образования России и ближнего зарубежья, в числе которых:

- ✓ Всероссийская научная конференция с международным участием «Ковалевские чтения», ИПА СО РАН. г. Новосибирск, Россия, 2010, 2013 и 2017 гг.;
- ✓ Международная научная конференция «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове», ТГУ. г. Томск, Россия, 2010, 2015 и 2020 гг.;
- ✓ Международная научная молодежная школа по палеопочвоведению в Сибири: «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого», ИПА СО РАН. г. Новосибирск, Россия, школа проходила ежегодно с 2010 по 2019 гг. (Дергачева, Макеев, 2019);
- ✓ Международная археологическая конференция «Маргулановские чтения – 2011», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева. г. Астана, РК, 2011 г.;
- ✓ Съезд общества почвоведов им. В.В. Докучаева: г. Петрозаводск, 2012 г.;
- ✓ Международный полевой симпозиум «Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее», ИПА СО РАН. г. Новосибирск, Россия, 2014 г.;
- ✓ Международная научная конференция «Актуальные вопросы археологии и этнологии Центральной Азии», посвященная 80-летию д.и.н., проф. П.Б. Коновалова, Институт монголоведения, буддологии и тибетологии СО РАН. г. Улан-Удэ, Россия, 2017 г.;
- ✓ Всероссийская научная конференция «Почвы в биосфере», посвященная 50-летию ИПА СО РАН (Соколов и др., 2018). г. Новосибирск, Россия, 2018 г.;
- ✓ Всероссийский археологический съезд: Барнаул-Белокуриха в 2017 г., г. Самара в 2020 г.

За последние пять лет Д.А. Гаврилов в сотрудничестве с коллегами из ИПА СО РАН и других учреждений России и Казахстана принимал активное участие в ряде научных проектов по почвоведению и археологии, финансируемых российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) и Министерством образования и науки (МОН) РК:

- ✓ Дюнные стоянки каменного века Рын-песков в Западном Казахстане. МОН РК, проект № AP08052885, 2020 г. Руководитель: Мамиров Т.Б.
- ✓ Отражение климатических флуктуаций голоцена в почвах и почвенном покрове озерных котловин и отложениях озер степного биотома Центральной Азии. РФФИ, проект № 19-29-05085 мк, 2019-2020 гг. Руководитель: Гаврилов Д.А.
- ✓ Морфологические элементы почв Западной Сибири на широтном профиле от степей до тундр: разнообразие, генезис и применение для реконструкции динамики экосистем. РФФИ, проект №18-34-20129 мол_a_вед, 2018-2020 гг. Руководитель: Лойко С.В.
- ✓ Каменный век Северо-Восточного Прикаспия. МОН РК, проект № AP05134087-OT-19, 2019 г. Руководитель: Мамиров Т.Б.
- ✓ Протогородское поселение бронзового века Токсанбай на Устюрте. МОН РК, проект № 0117PK00070, 2017-2018 гг. Руководитель: Лошакова Т.Н.
- ✓ Эволюция почв лесной зоны со сложным строением органофилия юга Западной Сибири в голоцене. РФФИ, проект № 16-34-00325 мол_a, 2016-2017 гг. Руководитель: Гаврилов Д.А.

Для выполнения научно-исследовательских работ, как по государственным заданиям ИПА СО РАН, так и по другим проектам (РФФИ, МОН РК), Денис Александрович регулярно проводил экспедиционные поездки по территории Западной и Восточной Сибири, а также Казахстана с целью изучения современных почв и палеопочв, почвообразующих пород и других объектов. В частности, он был участником I Полевой почвенно-экологической экскурсии «Лесостепные и степные ландшафты Барабы», организованной для аспирантов и молодых ученых ИПА СО РАН в сентябре 2009 года под руководством Смоленцева Бориса Анатольевича – кандидата биологических наук, заведующего лабораторией географии и генезиса почв ИПА СО РАН (рисунок). По результатам полевых исследований степных и лесостепных ландшафтов Западной Сибири, сопоставлению и обсуждению классификаций почв СССР (1977) и России (2004), участники экскурсии опубликовали две статьи (Смоленцев и др., 2010; 2011).



Рисунок. Участники I Полевой почвенно-экологической экскурсии «Лесостепные и степные ландшафты Барабы», 2009 г.: слева – участники обсуждают морфологию и название почвы (Д.А. Гаврилов стоит справа); справа – Д.А. Гаврилов описывает почвенный разрез.

Участники почвенно-экологической экскурсии вспоминают: «Д.А. Гаврилов выделялся среди остальных аспирантов своей основательностью. Наряду с учебными мероприятиями, как и в любой аналогичной поездке, было много экспедиционно-бытовых хлопот. Денис Александрович замечательно проявлял себя во всех делах, но одно из них запомнилось особо. Участникам экскурсии необходимо было взять почвенный монолит южного чернозема. Задачу нельзя было назвать простой, поскольку почвенный профиль был пересушенный, а монолит предстояло брать не как обычно – в жесткий деревянный ящик, а в гнущуюся металлическую коробку. Первая попытка оказалась не удачной, и монолит развалился при извлечении. Ко второй попытке решили подойти более основательно. Чтобы монолит снова не распался в коробке, необходимо было идеально выровнять переднюю стенку. И вот за эту непростую работу и взялся Д.А. Гаврилов. Другие участники экскурсии с восторгом наблюдали как Денис Александрович с большой тщательностью и усердием, присущим профессиональному археологу, обычным ножом выравнивал стенку разреза. Монолит удался и был передан Почвенному музею ИПА СО РАН, где он хранится и поныне».

Ниже представлен обзор основных результатов научно-исследовательской работы Д.А. Гаврилова, выполненных и опубликованных им как самостоятельно, так и в сотрудничестве с коллегами из ИПА СО РАН и других научных учреждений России и Казахстана. Хочется отметить, что Денис Александрович уделял большое внимание использованию методов морфологии почв, а также совмещению макроморфологии почв с тонкими химико-аналитическими лабораторными методами. На протяжении всей научной карьеры он продолжал работать с археологами, тесно сотрудничая с коллегами из Казахстана и Института археологии и этнографии СО РАН.

В работах Д.А. Гаврилова морфологические и физико-химические свойства погребенных почв (палеопочв) и природные условия функционирования поселений человека в прошлые эпохи были подробно рассмотрены на примере средневекового городища Бозок (VIII-XIV вв.). Анализ свойств палеопочв позволил выявить, что их формирование происходило в степных условиях. Показано, что небольшие колебания содержания отдельных групп гумусовых веществ, их соотношения, а также формы карбонатов кальция отражают слабые изменения условий тепло- и влагообеспеченности; палеопочва VIII-IX вв. была сформирована в условиях более низких летних температур и умеренного увлажнения. В период XII-XIV вв. климат стал более аридным (Гаврилов и др., 2011). Установлено, что соотношение элементов в гуминовых кислотах четко соответствует ландшафтным условиям и количественным характеристикам климатических показателей. Они сохраняются во времени и могут служить в качестве одного из надежных индикаторов при оценке природной среды разных периодов палеогеографической истории (Дергачева и др., 2012). В другом исследовании с изучением состава микробиоморфного комплекса серии образцов с поселения Айтман (плато Устюрт) показано, что образование культурного слоя происходило не только в результате воздействия человека на почвенно-литологическую основу, но и при активном привносе нового материала аквального генезиса. Присутствие в препаратах спикул губок, ракообразных и турбеллярий, фитоцитов тростника позволило предположить наличие опресненного источника воды недалеко от поселения в период его функционирования (Лошакова, Гаврилов, 2015). Горизонтально отобранные образцы из культурных слоев XI-XII вв. и начала XIII в. городища Жанкент, расположенного в Южном Казахстане на берегу реки Сырдарья, несут в себе разнообразную информацию об особенностях планиграфии городища и быта людей. В образце с межквартального пространства диагностировано место складирования навоза (кизяка), в минерализованных остатках которого хорошо сохранились свидетельства региональной и локальной флоры; найдены фитоциты из шелухи пшеницы (*Triticum spp.*), указывающие на возделывание этого злака. Кроме того, в составе микробиоморфного комплекса отражен пустынный ландшафт и оазис с водоёмом и сельскохозяйственными землями. Флуктуация климатических колебаний в пустынной зоне для периода XI и начала XIII вв. проявилась в возможной смене более влажного и менее континентального климата на континентальный и аридный (Гаврилов и др., 2016).

Д.А. Гаврилов принимал участие в составлении библиографического указателя по археологии Северного и Центрального Казахстана, содержащего около двух тысяч наименований работ, выпущенных с 1764 по 2012 гг. Книга нацелена на оказание библиографической помощи в поиске нужной литературы, введении в курс основных проблем и достижений региональной археологии и полезна как научным и музейным работникам, преподавателям, студентам, так и всем, кто интересуется археологией и древней историей Казахстана (Хабдулина и др., 2013).

Денис Александрович впервые применил микробиоморфный подход при изучении почв со вторым гумусовым горизонтом, распространенных в южной тайге Западной Сибири. Более того, он провел очень трудоемкие исследования и сумел выделить фитоциты для AMS датирования, благодаря чему удалось не только реконструировать растительность прошлого, но и оценить возраст фитоцитов, сравнить его с возрастом гуминовых кислот (Gavrilov et al., 2018). Это позволило подтвердить предположение, что, как минимум, часть дерново-подзолистых и серых почв со вторым гумусовым горизонтом имели своим эволюционным предшественником темногумусовые почвы под влажно-травными лугами. Современные почвы под темнохвойными мелкотравно-осочковыми лесами ранее проходили стадии лугово-болотного почвообразования, либо были аллювиальными почвами. Последующее локальное улучшение дренажа вдоль рек приводило к развитию процессов осветления почв. Часть вторых гумусовых горизонтов формировалась в результате регионального этапа седиментации и погребения (Гаврилов, Гольева, 2014).

Историко-географическое и археологическое образование Д.А. Гаврилова с последующей учебой в аспирантуре и работой в ИПА СО РАН сформировали у него историко-генетический подход к проведению почвенных исследований с акцентом на изучении прошлого биосистем и поиску путей реконструкции окружающей среды. В связи с этим, особое внимание он уделял методологии микробиоморфного анализа почв в сочетании с педогумусовыми и радиоизотопными методами. Он установил, что микробиоморфный профиль геохимически сопряженного ряда текстурно-дифференцированных и органо-аккумулятивных почв Васюганской наклонной равнины отражает особенности условий формирования почв в прошлом (Гаврилов, 2016).

Д.А. Гаврилов занимался изучением фитолитного состава разных видов растений и транслокации фитолитов в почве (Лада, Гаврилов, 2016; Gavrilov, 2017; Гаврилов, 2018; Климова, Гаврилов, 2018), а также вопросами эволюции почв в голоцене на основе фитолитных записей и генетического анализа почв степных и лесных ландшафтов юга Западной Сибири (Гаврилов, Миронычева-Токарева, 2014; Гаврилов, Лойко, 2016). В последние два года жизни Денис Александрович трудился над освоением и применением фитолитного анализа диатомитов как геологических образований, уделял внимание оценке степени разрушенности фитолитов в ходе почвообразования. Показано, что почвы на диатомитах Среднего Зауралья и других породах, обогащенных биогенным кремнеземом, являются уникальными природными объектами, а их изучение может быть полезным для понимания роли литогенной основы в формировании цикла кремния и вклада биогенного кремния в почвообразование (Константинов и др., 2019).

Ряд работ Д.А. Гаврилова с соавторами посвящены вопросам климата и истории освоения озер на юге Западной Сибири. Показаны строение и свойства почвенно-седиментационных серий озерных котловин Центральной Азии на примере озера Большой Баган. Индикаторно значимыми для климатических реконструкций в этих сериях являются генезис отложений, их гранулометрический состав, содержание карбонатов, солей, а также гумусное состояние погребенных и дневных почв (Гаврилов, Смоленцева, 2020; Smolentseva, Gavrilov, 2020). Установлено, что большинство исследованных озер (Чаны, Малые Чаны, Белое, Минзелинское, Большие Тороки, Кирек) юга Западной Сибири очень молоды и начали формироваться в среднем голоцене или позже (Zhilich et al., 2020).

Результаты почвенно-археологических исследований, проведенных Денисом Александровичем совместно с коллегами из Института археологии им. А.Х. Маргулана (г. Алматы, РК), опубликованы в российских (Гаврилов и др., 2021) и зарубежных журналах (Gavrilov, Mamirov, 2020), а также в сборнике трудов Всероссийского археологического съезда (Мамиров, Гаврилов, 2020; Мамиров и др., 2020). Последняя работа Д.А. Гаврилова была посвящена изучению курганов могильника Куйгенжар в Северном Казахстане, представляющих собой монументальные земляные сооружения, возведенные в честь скифо-сакской элиты. Курганные насыпи являются не только образцами разнообразия приемов сооружения земляных надмогильных холмов, но и случайным экспериментом по определению направленности и характера диагенеза палеопочв на протяжении очень длительного периода. Сравнительный анализ насыпей с погребенными почвами и их диагенез дали возможность Д.А. Гаврилову определить источник материала и реконструировать прием переувлажнения насыпи строителями.

Стоит отметить, что Денис Александрович был сторонником современных методов и технических возможностей в обработке и представлении научных результатов. Примером тому служит одна из его публикаций в журнале ПОС, где приведен алгоритм пересчета размерности элементарных почвенных частиц по Н.А. Качинскому в международную градацию с использованием формулы Е.В. Шеина и построения диаграммы Ферре с помощью разных статистических пакетов в среде R, что позволяет быстро провести классификацию текстурных классов и визуализировать результаты гранулометрического анализа почв (Гаврилов, 2021).

Д.А. Гаврилов провел ревизию работ сотрудников ИПА СО РАН в электронной базе elibrary.ru, разместив там практически все публикации Института, в т.ч. советского периода. Денис Александрович был одним из инициаторов создания и организаторов научного журнала «Почвы и окружающая среда» (учредитель – ИПА СО РАН). Будучи отличным специалистом в IT-технологиях, он создал сайт журнала ПОС и обеспечивал его устойчивое функционирование, размещал все публикуемые материалы на сайте и в разных базах цитирования. Его кончина стала тяжелой утратой для коллектива редакции журнала и всего коллектива ИПА СО РАН.

Жизнь Д.А. Гаврилова отличалась большой активностью и творческим накалом, он был человеком неиссякаемого оптимизма и альтруизма, ко всем относящийся по-доброму. Денис Александрович был примерным семьянином, заботливым и любящим мужем и отцом.

Д.А. Гаврилов обладал широким кругозором и творческим подходом к выполняемой работе, был отзывчивым, неконфликтным человеком, всегда готовым помочь советом и делом. Коллеги и друзья чувствовали в Денисе Александровиче стержень, который бывает у людей, нашедших цель в жизни и способ самореализации. Он являлся яркой личностью, отличался жизнелюбием, обладал волевым и честным характером, потрясающей работоспособностью и ответственностью, при этом всегда был скромным, внимателен и отзывчив к другим. Таким Денис Александрович и запомнится друзьям и коллегам...

Сотрудникам ИПА СО РАН, коллегам из других организаций будет очень не хватать Дениса Александровича Гаврилова в повседневной работе. Без преувеличения, можно сказать, что его уход сильно ударил по научному потенциалу института. Светлая память о Денисе Александровиче будет жить в сердцах коллег и друзей, а его научная деятельность найдет продолжение в работах других исследователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов Д.А. *Сохранность признаков педогенеза разных условий погребения палеопочв и отложений*: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2011. 160 с.
2. Гаврилов Д.А. Генезис второго гумусового горизонта почв Васюганской наклонной равнины // *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*, 2016. № 85. С. 3–19. doi: [10.19047/0136-1694-2016-85-5-19](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-5-19)
3. Гаврилов Д.А. Транслокация фитолитов в почве // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*. 2018. № 17. С. 281–285.
4. Гаврилов Д.А. Использование R для классификации гранулометрических классов почв и построения диаграммы Ферре // *Почвы и окружающая среда*. 2021. Том 4. № 1. e136. doi: [10.31251/pos.v4i1.136](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.136)
5. Гаврилов Д.А., Гольева А.А. Микробиоморфное исследование почв со вторым гумусовым горизонтом южно-таежной подзоны Западной Сибири // *Вестник ТГУ. Биология*. 2014. № 2. С. 5–22.
6. Гаврилов Д.А., Дергачева М.И., Хабдулина М.К. Палеопочвы и природные условия функционирования средневекового городища Бозок в VIII–XIV вв. // *Вестник ТГУ. Биология*. 2011. № 3. С. 7–15.
7. Гаврилов Д.А., Лойко С.В. Фитолиты почв темнохвойных гемибореальных лесов юго-востока Западной Сибири // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. 2016. Вып. 1(3). С. 41–53.
8. Гаврилов Д.А., Мамиров Т.Б., Растигеев С.А., Пархомчук В.В. История формирования и освоение человеком поймы реки Деркул (Западный Казахстан) в середине голоцена // *Поволжская Археология*. 2021. № 3 (37). С. 127–141. doi: [10.24852/pa2021.3.37.127.141](https://doi.org/10.24852/pa2021.3.37.127.141)
9. Гаврилов Д.А., Миронычева-Токарева Н.П. Изменение условий почвообразования в южно-таежной подзоне Западной Сибири в голоцене по данным изучения аллювиальной гумусовой почвы // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2014. Т. 4. № 2. С. 53–56.
10. Гаврилов Д.А., Смоленцева Е.Н. *Почвенно-седиментационные серии озерных котловин Центрально-азиатского степного биома как индикаторы климатических ритмов голоцена* // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сб. матер. VII Междунар. науч. конф., посвященной 90-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ (Томск, 14-19 сентября 2020 г.). Томск: Издательский Дом ТГУ, 2020. С. 166–170.
11. Гаврилов Д.А., Шумиловских Л.С., Амиров Е.Ш., Камалдинов И.Р. Микробиоморфное исследование культурного слоя городища Жанкент (X–XIII вв.), Южный Казахстан // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. 2016. Т. 7. № 1. С. 54–62.
12. Дергачева М.И., Макеев А.О. Ежегодная Международная научная молодежная школа по палеопочвоведению в Сибири: «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого» (2010 – 2019 гг.) // *Почвы и окружающая среда*. 2019. Т. 2. № 4. e103. doi: [10.31251/pos.v2i4.103](https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.103)
13. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешикова М.В., Васильева Д.И., Гаврилов Д.А., Очур К.О., Ондар Е.Э. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // *Сибирский экологический журнал*. 2012. № 5. С. 667–676.
14. *Классификация и диагностика почв СССР* / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. М.: Колос, 1977. 224 с.
15. *Классификация почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
16. Климова Н.В., Гаврилов Д.А. Особенности фитолитных комплексов злаков (*Pooideae Benth*) в связи с ценогическими свойствами // *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*. 2018. № 17. С. 292–295.
17. Константинов А.О., Смирнов П.В., Гаврилов Д.А., Лойко С.В., Новоселов А.А. Некоторые аспекты почвообразования на биогенных кремниевых породах Зауралья // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2019. № 96. С. 64–85. doi: [10.19047/0136-1694-2019-96-64-85](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-64-85)
18. Лада Н.Ю., Гаврилов Д.А. Анализ фитолитного состава основных растений степных экосистем Западной Сибири // *Вестник ТГУ. Биология*. 2016. № 2 (34). С. 53–85. doi: [10.17223/19988591/34/4](https://doi.org/10.17223/19988591/34/4)
19. Лошакова Т.Н., Гаврилов Д.А. Микробиоморфные исследования культурного слоя поселения Айтман (плато Устюрт) // *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. 2015. № 2 (29). С. 183–191.
20. Мамиров Т.Б., Гаврилов Д.А. *Археологические исследования стоянки Деркул 1 в 2018 году* // Труды VI (XXII) Всерос. археологического съезда в Самаре: сб. статей в 3-х томах. [Том I](#). (Самара, 1-2 октября 2020 г.) / Дервянко А.П., Макаров Н.А., Мочалов О.Д. (отв. ред.). Самара: СГСПУ, 2020. С. 181–182.

21. Мамиров Т.Б., Гаврилов Д.А., Бажина Н.Л. *Человек, почвообразование, осадконакопление в пойме реки Деркул (Западный Казахстан) в голоцене* // Труды VI (XXII) Всерос. археологического съезда в Самаре: сб. статей в 3-х томах. Том III. (Самара, 1-2 октября 2020 г.) / Дервянко А.П., Макаров Н.А., Мочалов О.Д. (отв. ред.). Самара: СГСПУ, 2020. С. 260–262.

22. Смоленцев Б.А., Соколов Д.А., Коронатова Н.Г., Беланов И.П., Гаврилов Д.А., Кармышева Н.В., Степанова В.А., Миляева Е.В. Использование классификаций почв СССР 1977 года и России 2004 года в полевых исследованиях степных и лесостепных ландшафтов Западной Сибири // *Почвоведение и агрохимия*. 2010. № 2. С. 5–11.

23. Смоленцев Б.А., Соколов Д.А., Коронатова Н.Г., Беланов И.П., Гаврилов Д.А., Степанова В.А., Миляева Е.В. Сравнительно-диагностическая характеристика классификаций 1977 и 2004 гг. на примере почв Новосибирской области // *Вестник НГАУ*. 2011. № 3 (19). С. 23–29.

24. Соколов Д.А., Чумбаев А.С., Смирнова Н.В., Нечаева Т.В., Якименко В.Н., Худяев С.А., Смоленцева Е.Н., Соколова Н.А. Всероссийская научная конференция «Почвы в биосфере», посвященная 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН // *Почвы и окружающая среда*. 2018. Т. 1. № 4. С. 196–217. doi: [10.31251/pos.v1i4.53](https://doi.org/10.31251/pos.v1i4.53)

25. Хабдулина М.К., Гаврилов Д.А., Свиридов А.Н. *Археология Северного и Центрального Казахстана* / Библиографический указатель (1764-2012 гг.). Астана: Издательство Сарыарка, 2013. 280 с.

26. Gavrilo D.A. Phytolith Transport in Texturally Differentiated Soils // *Annual Research & Review in Biology*. 2017. Vol. 18. Iss. 6. P. 1–10.

27. Gavrilo D.A., Loiko S.V., Klimova N.V. Holocene Soil Evolution in South Siberia Based on Phytolith Records and Genetic Soil Analysis (Russia) // *Geosciences (Switzerland)*. 2018. T. 8. № 11. P. 402. doi: [10.3390/geosciences8110402](https://doi.org/10.3390/geosciences8110402)

28. Gavrilo D.A., Mamirov T.B. Geoarchaeology of the Derkul River floodplain, west Kazakhstan: Soil formation, sediment accumulation and human settlement // *The Holocene*. 2020. doi: [10.1177/0959683620981720](https://doi.org/10.1177/0959683620981720)

29. Smolentseva E.N., Gavrilo D.A. *Soil-sedimentary sequences of lake depressions in the steppe zone of West Siberia (Russia)* // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 82067. doi: [10.1088/1755-1315/548/8/082067](https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082067)

30. Zhilich S.V., Krivonogov S.K., Gavrilo D.A., Rudaya N.A. Climate and lake development history in the south of West Siberia // *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. № 4. P. 538–540. doi: [10.31951/2658-3518-2020-A-4-538](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-538)

Поступила в редакцию 21.12.2021

Принята 21.12.2021

Опубликована 21.12.2021

Сведения об авторах:

Нечаева Таисия Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); nechaeva@issa-siberia.ru

Наумова Наталья Борисовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); naumova@issa-siberia.ru

Соколов Денис Александрович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); sokolovdenis@issa-siberia.ru

Степанова Вера Андреевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); stepanova@issa-siberia.ru

Коронатова Наталья Геннадьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Россия); koronatova@issa-siberia.ru

Лойко Сергей Васильевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории БиоГеоКлим ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет (г. Томск, Россия); s.loyko@yandex.ru

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



IN MEMORIAM OF DENIS ALEXANDROVICH GAVRILOV, A FRIEND AND A COLLEAGUE

© 2021 T. V. Nechaeva ¹, N. B. Naumova ¹, D. A. Sokolov ¹, V. A. Stepanova ¹,
N. G. Koronatova ¹, S. V. Loiko ², V.N. Yakimenko ¹

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: nechaeva@issa-siberia.ru

²National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: s.loyko@yandex.ru

The article describes research and teaching activity of Denis Alexandrovich Gavrilov, Candidate of Biological Sciences, senior researcher with Soil Genesis Laboratory of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, who died suddenly on August 26, 2021. He was also an enthusiastic and a hardworking publishing editor of the research journal Soils and Environment. The article briefly reviews of D.A. Gavrilov's major publications presenting the results of his soil and combined soil and archeology studies, which he conducted both individually or in collaboration with other scientists from research and education institutions in Russia and Kazakhstan.

Key words: scientist; soil science; archeology; pedogenesis; paleosols; phytoliths; microbiomorphs; reconstructions; climate; Siberia; Kazakhstan

How to cite: Nechaeva T.V., Naumova N.B., Sokolov D.A., Stepanova V.A., Koronatova N.G., Loiko S.V., Yakimenko V.N. In memoriam of Denis Alexandrovich Gavrilov, a friend and a colleague // *The Journal of Soils and Environment*. 2021. 4(3). e158. doi: [10.31251/pos.v4i3.158](https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.158) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Gavrilov D.A. *Preservation of pedogenesis features under different soil and sediment burial conditions* Diss. Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2011, 160 p. (in Russian)
2. Gavrilov D.A. The genesis of the second humus horizon on the plateau of Vasyugan sloping plain, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, No 85, p. 3–19. (in Russian) doi: [10.19047/0136-1694-2016-85-5-19](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-5-19)
3. Gavrilov D.A. Translocation of phytolith in soil, *Problems of botany in South Siberia and Mongolia*, No 17. p. 281–285. (in Russian)
4. Gavrilov D.A. Using R-software for classification of soil granulometry classes and creating the Ferrers diagrams, *The Journal of Soils and Environment*, 2021, 4(1), e136. (in Russian with English abstract) doi: [10.31251/pos.v4i1.136](https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.136)
5. Gavrilov D.A., Golyeva A.A. Microbiomorphic research of soils with the second humus horizon of the West Siberian southern taiga subzone (Russia), *Tomsk State University Journal of Biology*, 2014, No 2, p. 5–22. (in Russian)
6. Gavrilov D.A., Dergacheva M.I., Khabdulina M.K. Paleosol and natural conditions of medieval settlement Bozok functioning in VIII–XIV, *Tomsk State University Journal of Biology*, 2011, No 3. p. 7–15. (in Russian)
7. Gavrilov D.A., Loiko S.V. Phytoliths in soils of hemiboreal dark coniferous forest in southeast of West Siberia, *Environmental dynamics and global climate change*, 2016, Vol. 1(3), p. 41–53. (in Russian)
8. Gavrilov D.A., Mamirov T.B., Rastigeev S.A., Parkhomchuk V.V. The history of formation and anthropogenic development of the Derkul river floodplain (West Kazakhstan) in the mid holocene, *The Volga river region archaeology*, 2021, No 3 (37), p. 127–141. (in Russian) doi: [10.24852/pa2021.3.37.127.141](https://doi.org/10.24852/pa2021.3.37.127.141)
9. Gavrilov D.A., Mironycheva-Tokareva N.P. Change of soil formation in southern taiga subzone of Western Siberia in holocene on the results of study of alluvial humus soils, *Interexpo GEO-Siberia*, 2014. T. 4. No 2. p. 53–56. (in Russian)
10. Gavrilov D.A., Smolentseva E.N. *Soil-sedimentary sequences of lake depressions in the steppe biome of Central Asian as indicators of holocene climatic rhythms*. In book: Reflection of bio-, geo-, antropospheric interactions in soils and soil cover. Proc. of the Inter. Sci. Conf., dedicated to the 90th anniversary of the opening of the first university department of Soil Science in Siberia (Tomsk, 14–19 September, 2020). Tomsk: Publishing House of TGU, 2020, p. 166–170. (in Russian)
11. Gavrilov D.A., Shumilovskikh L.S., Amirov E.Sh., Kamaldinov I.R. Microbiomorph studies on the cultural layers of Jankent (ad X–XIII), Southern Kazakhstan, *Environmental dynamics and global climate change*, 2016, T. 7, № 1, p. 54–62. (in Russian)

12. Dergacheva M.I., Makeev A.O. The annual International scientific School on paleopedology for Young Researchers in Siberia: "Paleosols as source of information about past environments" (2010-2019), *The Journal of Soils and Environment*. 2019. 2(4). e103. (in Russian with English abstract) doi: [10.31251/pos.v2i4.103](https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.103)
13. Dergacheva M., Nekrasova O., Okoneshnikova M., Vasil'eva D., Gavrilov D., Ochur K., Ondar E. Ratio of Elements in Humic Acids as a Source of Information on Environmental Formation of Soils, *Contemporary Problems of Ecology*, 2012, Vol. 5, No 5, p. 497–504. (in Russian)
14. *Soil classification and diagnostics of the USSR* / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Friev. M.: Kolos Publ., 1977, 224 p. (in Russian)
15. *Soil classification of Russia* / Authors and compilers: L.L. Scishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova. Smolensk: Oykumena Publ., 2004, 342 p. (in Russian)
16. Klimova N.V., Gavrilov D.A. Features of phytolith complexes of cereals (*Pooideae Benth*) in connection with coenotic properties, *Problems of botany in South Siberia and Mongolia*, 2018, No 17, p. 292–295. (in Russian)
17. Konstantinov A.O., Smirnov P.V., Gavrilov D.A., Loiko S.V., Novoselov A.A. Some aspects of soil formation on biogenic silicious rocks in Trans-Urals, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, No 96, p. 64–85. (in Russian) doi: [10.19047/0136-1694-2019-96-64-85](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-64-85)
18. Lada N.Yu., Gavrilov D.A. Analysis of phytolith composition of the main plant steppe ecosystems of Western Siberia, *Tomsk State University Journal of Biology*, 2016, No 2 (34), p.53–85. (in Russian) doi: [10.17223/19988591/34/4](https://doi.org/10.17223/19988591/34/4)
19. Loshakova T.N., Gavrilov D.A. Microbiomorphic investigations of the occupation layer of ajtman settlement (Ustyrt Plateau), *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii (Journal of archaeology, anthropology and ethnography)*, 2015, No 2 (29). p. 183–191. (in Russian)
20. Mamirov T.B., Gavrilov D.A. *Archaeological research of the Derkul 1 in 2018*. Works VI (XXII) Russian Archaeological Congress in Samara: collection of articles in 3 volumes. Vol. I. (Samara, 1-2 October, 2020) / Derevyanko A.P., Makarov N.A., Mochalov O.D. (ed.). Samara: SGSPU, 2020, p. 181–182. (in Russian)
21. Mamirov T.B., Gavrilov D.A., Bazhina N.L. *Man, soil formation, sediment accumulation in the floodplain of the Derkul river (West Kazakhstan) in the Holocene*. Works VI (XXII) Russian Archaeological Congress in Samara: collection of articles in 3 volumes. Vol. III. (Samara, 1-2 October, 2020) / Derevyanko A.P., Makarov N.A., Mochalov O.D. (ed.). Samara: SGSPU, 2020, p. 260–262. (in Russian)
22. Smolentsev B.A., Sokolov D.A., Koronatova N.G., Belanov I.P., Gavrilov D.A., Karmysheva N.V., Stepanova V.A., Milyaeva E.V. Using the USSR (1977) and Russian (2004) soil classifications for field studies of steppe and forest-steppe landscapes of West Siberia? *Soil science and agrochemistry*, 2010, No 2, p. 5–11. (in Kazakhstan)
23. Smolentsev B.A., Sokolov D.A., Koronatova N.G., Belanov I.P., Gavrilov D.A., Stepanova V.A., Milyaeva E.V. comparative and diagnostic characteristics of soil classifications in 1977 and 2004 in Novosibirsk region, *Bulletin of NSAU*, 2011, No 3 (19), p. 23–29. (in Russian)
24. Sokolov D.A., Chumbaev A.S., Smolentsev B.A., Smirnova N.V., Nechaeva T.V., Yakimenko V.N., Khudayev S.A., Smolentseva E.N., Sokolova N.A. Russian Scientific Conference «Soils in the Biosphere» devoted to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, *The Journal of Soils and Environment*, 2018, 1(4), p. 196–217. (in Russian with English abstract) doi: [10.31251/pos.v1i4.53](https://doi.org/10.31251/pos.v1i4.53)
25. Khabdulina M.K., Gavrilov D.A., Sviridov A.N. *Archaeology of North and Central Kazakhstan*. Bibliographic index (1764-2012). Astana: Publishing House Saryarka, 2013. 280 p.
26. Gavrilov D.A. Phytolith Transport in Texturally Differentiated Soils, *Annual Research & Review in Biology*, 2017, Vol. 18, Iss. 6, p. 1–10.
27. Gavrilov D.A., Loiko S.V., Klimova N.V. Holocene Soil Evolution in South Siberia Based on Phytolith Records and Genetic Soil Analysis (Russia), *Geosciences (Switzerland)*, 2018, T. 8, № 11, p. 402. doi: [10.3390/geosciences8110402](https://doi.org/10.3390/geosciences8110402)
28. Gavrilov D.A., Mamirov T.B. Geoarchaeology of the Derkul River floodplain, west Kazakhstan: Soil formation, sediment accumulation and human settlement // *The Holocene*. 2020. doi: [10.1177/0959683620981720](https://doi.org/10.1177/0959683620981720)
29. Smolentseva E.N., Gavrilov D.A. *Soil-sedimentary sequences of lake depressions in the steppe zone of West Siberia (Russia)* // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. C. 82067. doi: [10.1088/1755-1315/548/8/082067](https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082067)
30. Zhilich S.V., Krivonogov S.K., Gavrilov D.A., Rudaya N.A. Climate and lake development history in the south of West Siberia // *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. № 4. C. 538–540. doi: [10.31951/2658-3518-2020-A-4-538](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-538)

Received 21 December 2021

Accepted 21 December 2021

Published 21 December 2021

About the author(s):

Nechaeva Taisia Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); nechaeva@issa-siberia.ru

Naumova Natalia Borisovna – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; naumova@issa-siberia.ru

Sokolov Denis Aleksandrovich – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Soil Reclamation, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia), sokolovdenis@issa-siberia.ru

Stepanova Vera Andreevna – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Biogeocenology, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); stepanova@issa-siberia.ru

Koronatova Natalia Gennadevna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Biogeocenology, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); koronatova@issa-siberia.ru

Loiko Sergey Vasilievich – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of BioGeoKlim, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia); s.loyko@yandex.ru

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

The authors read and approved the final manuscript



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