

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2018

Том 1. Выпуск 4

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) 3639035, ИПА СО РАН, e-mail: redactor@soils-journal.ru, сайт: <https://www.soils-journal.ru>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Титлянова Аргента Антониновна - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии 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

Дюкарев Анатолий Григорьевич - кандидат биологических наук, доктор географических наук, заведующий лабораторией мониторинга лесных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Мордкович Вячеслав Генрихович - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии беспозвоночных животных ФГБУН Институт систематики и экологии животных СО РАН

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

Члены редколлегии

Сысо Александр Иванович - доктор биологических наук, заведующий лабораторией биогеохимии, директор ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Андроханов Владимир Алексеевич - доктор биологических наук, заведующий лабораторией рекультивации почв, заместитель директора по науке ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Добротворская Надежда Ивановна - доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией рационального землепользования Сибирского НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН.

Кирпотин Сергей Николаевич - доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального Исследовательского Томского государственного университета

Гольева Александра Амуриевна - доктор географических наук, ведущий научный сотрудник отдела географии и эволюции почв ФГБУН Институт географии РАН, председатель Российской ассоциации фитолитологов

Кулижский Сергей Павлинович - доктор биологических наук, проректор по социальным вопросам ФГБУВПО Национального Исследовательского Томского государственного университета

Гопп Наталья Владимировна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генезиса и географии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Ермолов Юрий Викторович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Кудряшова Светлана Яковлевна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Танасиенко Анатолий Алексеевич - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенно-физических ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Лойко Сергей Васильевич - кандидат биологических наук, заведующий почвенным музеем, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды Национального Исследовательского Томского государственного университета

Миронычева-Токарева Нина Петровна - кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Смоленцев Борис Анатольевич - кандидат биологических наук, заведующий лабораторией географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Фотев Юрий Валентинович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции пищевых растений ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН

Якутина Ольга Петровна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Беланов Иван Петрович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Содержание

Якименко В.Н.	194
От редколлегии	

Юбилеи и памятные даты

Соколов Д.А., Чумбаев А.С., Смоленцев Б.А., 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	196

Эволюция почв и динамика экосистем

Климова Н.В., Дюкарев А.Г.	
Формирование гумусового профиля почв в длительно-производных лесах Васюганской равнины	218

Антропогенные, агрогенные и городские почвы

Поляк Ю.М., Бакина Л.Г., Маячкина Н.В., Дроздова И.В., Каплан А.В., Голод Д.Л.	
Биодиагностика состояния окультуренной городской почвы, загрязненной тяжелыми металлами, методами биоиндикации и биотестирования	231

Геоинформационные системы и картографирование почв

Синюткина А.А., Гашкова Л.П.	
Оценка состояния окраинных частей Большого Васюганского болота (на примере Бакчарского болотного массива)	243

Почвы и круговорот химических элементов

Никонова Л.Г., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Жмурин В.А., Головацкая Е.А.	
Оценка влияния температуры на скорость разложения растений- торфообразователей в условиях длительного модельного эксперимента	256

Биология и биохимия почв

Войтехов М.Я.	
О некоторых факторах, лимитирующих почвообразовательную роль дождевых червей в Европейской части таежной зоны России	267

Физика и гидрология почв

Кулик Н.Ф.	
Дистиляция почвенного раствора под действием температур и возможность его использования растениями	278
Кравцов Ю.В.	
Основные результаты многолетних почвенно-гидрологических исследований в Ишимской степи	284



ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Дорогие друзья – читатели журнала «Почвы и окружающая среда»!

Осенью этого года коллектив Института почвоведения и агрохимии СО РАН, научное сообщество торжественно отметили знаменательное событие – 50 лет со дня основания института! За эти годы институт прошел сложный и трудный, но славный путь становления и развития, по праву являясь ведущим академическим учреждением Сибири и Дальнего Востока в области географии и генезиса почв, биогеохимии и агрохимии, биоценологии и экологии, эрозии и рекультивации почв. Успешное развитие этих и других смежных отраслей науки в Сибири, да и в нашей стране, в целом, в немалой степени связано с результатами работ сотрудников ИПА СО РАН, их высоким творческим и профессиональным потенциалом. На протяжении многих лет институт обеспечивал и обеспечивает значительный вклад в достижения фундаментальной и прикладной науки, является определенным стимулом и ориентиром для развития почвенно-агрохимических исследований и формирования научных школ в других профильных учреждениях сибирского региона.

Одним из мероприятий, посвященных юбилею института, стала Всероссийская конференция «Почвы в биосфере», прошедшая 10-14 сентября 2018 года в ИПА СО РАН. Обзор основных событий этого научного форума представлен в статье Д.А. Соколова с соавторами. В материале приведено краткое содержание пленарных докладов, показана работа секций по отдельным научным направлениям и даны краткие резюме выступлений участников конференции. Отдельно представлено описание завершившей конференцию полевой экскурсии, позволившей ее участникам детально познакомиться с естественными и антропогенно преобразованными почвами лесостепной зоны юго-востока Западной Сибири.

На прошедшей конференции было сделано большое количество интересных докладов, некоторые из которых вошли в рассматриваемый номер нашего журнала.

Особенности формирования гумусового профиля почв Васюганской равнины рассмотрены в статье Н.В. Климовой и А.Г. Дюкарева. Выявленное авторами сходство фитолитных комплексов современных и реликтовых гумусовых горизонтов почв, позволило сделать выводы об относительной устойчивости специфических растительных сообществ – травяных березняков к происходившим климатическим колебаниям и о маятниковой эволюции почв региона с различным сочетанием продолжительности этапов деградации и проградации.

Проблемам функционирования экосистем Васюганского региона посвящена и статья А.А. Синюткиной и Л.П. Гашковой. В работе приводятся результаты комплексной оценки современного состояния Бакчарского болотного массива, в ходе которой получены новые данные о трансформации поверхности при торфонакоплении, установлен вклад рельефа, как фактора заболачивания территории.

Бакчарское олиготрофное болото также послужило полигоном для исследований Л.Г. Никоновой с соавторами, статья которых посвящена изучению процессов современного торфонакопления. В длительном модельном эксперименте авторами установлена специфика влияния температуры и вида растительного субстрата на скорость разложения растений-торфообразователей, дана количественная оценка выявленной зависимости.

Важные экологические вопросы биологических последствий загрязнения почв тяжелыми металлами поднимаются в статье Ю.М. Поляк с соавторами. В работе приводятся результаты диагностики состояния загрязненной городской почвы, выполненной методами биоиндикации и биотестирования, показана специфика и информативность используемых методов, рассматриваются особенности токсического действия разных тяжелых металлов.

Две заключительные статьи номера – Н.Ф. Кулика и Ю.В. Кравцова – посвящены рассмотрению актуальных проблем почвенно-физических исследований.

В своей работе Н.Ф. Кулик указывает на глобальный характер термоградиентного переноса влаги в почвах, связанного с поступлением солнечной энергии. Автор рассматривает зависимость процессов влагопереноса в почвах от температуры и величины порового пространства, влажности и засоления грунтов, указывает на важнейшее значение процессов влагопереноса для водного питания растений.

Результаты многолетних почвенно-гидрологических исследований Ю.В.Кравцова в степной зоне Ишимской равнины обобщены в подготовленной им статье. Автор показывает специфику гидрологического состояния почвенно-грунтовых толщ при колебании циклов атмосферного увлажнения, раскрывает причины и механизмы динамичности водного режима плакорных почв равнины, наблюдающейся на протяжении последних десятилетий, намечает главные задачи дальнейших изысканий.

Статьи, вошедшие в данный номер журнала «Почвы и окружающая среда», охватывают широкий круг вопросов почвоведения и экологии и, как надеется редакция, будут интересны и полезны нашим читателям.

Заместитель главного редактора,
д.б.н. В.Н. Якименко

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ»,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО РАН**

© 2018 Д.А. Соколов, А.С. Чумбаев, Б.А. Смоленцев, Н.В. Смирнова, Т.В. Нечаева,
В.Н. Якименко, С.А. Худяев, Е.Н. Смоленцева, Н.А. Соколова

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

С 10 по 14 сентября 2018 г. в Новосибирске состоялась Всероссийская научная конференция с международным участием «Почвы в биосфере», посвященная 50-летию Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН. На конференции присутствовало около 140 участников из 35 регионов России и Республики Казахстан. Дан обзор докладов и материалов конференции, сделанных по основным ее научным направлениям: 1. Зональная и провинциальная специфика генезиса и эволюции почв; 2. Экология почв: теоретические и прикладные аспекты; 3. Плодородие почв и продуктивность агроценозов; 4. Почвенно-физические исследования: актуальные проблемы; 5. Рекультивация и почвообразование в техногенных ландшафтах; 6. Современные методы и подходы к изучению почв и почвенного покрова. Всего на конференции заслушано 112 докладов: 15 пленарных и 97 секционных. Подробное изложение представленных в обзоре материалов заинтересованный читатель найдет в двух частях сборника конференции «Почвы в биосфере» (2018, ч. I и ч. II).

Дано описание полевой почвенной экскурсии в Тогучинский район Новосибирской области с осмотром шести почвенных разрезов и посещением Усть-Каменского противозрозионного стационара ИПА СО РАН. Цель экскурсии – знакомство с естественными и агрогенными почвами, условиями почвообразования Предалтайской почвенной провинции лесостепной зоны Западной Сибири на примере одного из геоморфологических районов этой провинции – Буготакского мелкосопочника, а также с актуальными проблемами использования почв в условиях современной системы земледелия. Классификационное положение всех представленных почв обосновано в рамках двух отечественных классификационных систем – классификации почв России (2004) и классификации почв СССР (1977), а также международной почвенной классификации WRB (2014). Для научно-информационной поддержки экскурсии подготовлен и опубликован путеводитель «Почвы Предалтайской лесостепной почвенной провинции Западной Сибири (на примере Буготакского мелкосопочника)» (Смоленцева и др., 2018).

Проведение конференции вызвало большой интерес широкого круга специалистов, преподавателей и студентов в области почвоведения, агро- и биогеохимии, экологии, ландшафтоведения, геоморфологии 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 роли почвы в биосфере.

Ключевые слова: конференция; генезис и эволюция почв; химические элементы; техногенные ландшафты; экология почв; агроценоз; почвенный покров; рекультивация почв; почвенно-физические исследования.

Цитирование: Соколов Д.А., Чумбаев А.С., Смоленцев Б.А., 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. № 1(4). С. 196–217.

10–14 сентября 2018 г. в Новосибирске состоялась Всероссийская научная конференция с международным участием «Почвы в биосфере» (далее – конференция), посвященная 50-летию Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН.

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 почвоведения, агро- и биогеохимии, обобщение информации о роли почвы в биосфере.



Участники Всероссийской научной конференции с международным участием «Почвы в биосфере» перед входом в ИПА СО РАН

На конференции присутствовало около 140 участников из 35 регионов России и Республики Казахстан, в том числе 36 докторов и 57 кандидатов наук из научно-исследовательских организаций и ВУЗов. Всего заслушано 112 докладов: 15 пленарных и 97 секционных.

Самые большие делегации прибыли на конференцию из следующих городов России:

- ✓ **Томск** (Национальный Исследовательский Томский государственный университет, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН) – 13 участников;
- ✓ **Москва и Московская область** (Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Талдомская администрация особо охраняемых природных территорий) – 8 участников;
- ✓ **Иркутск** (Иркутский государственный университет, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН) – 6 участников;
- ✓ **Санкт-Петербург** (Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН) – 5 участников;
- ✓ **Барнаул** (Алтайский государственный аграрный университет, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Алтайский государственный университет) – 5 участников.

В материалах конференции представлены также работы из научно-исследовательских организаций зарубежных стран: Азербайджанской Республики (Баку, Гянджа), Республики Беларусь (Минск, Горки), Республики Казахстан (Алматы).

Научные направления работы конференции (секции):

1. Зональная и провинциальная специфика генезиса и эволюции почв.
2. Экология почв: теоретические и прикладные аспекты.
3. Плодородие почв и продуктивность агроценозов.
4. Почвенно-физические исследования: актуальные проблемы.
5. Рекультивация и почвообразование в техногенных ландшафтах.
6. Современные методы и подходы к изучению почв и почвенного покрова.

Пленарное заседание конференции началось с приветственных слов, с которыми к участникам мероприятия обратились:

- д-р биол. наук **Александр Иванович Сысо** – директор ИПА СО РАН;
- д-р биол. наук, проф. **Сергей Павлович Кулижский** – проректор по социальным вопросам Национального исследовательского Томского государственного университета;
- д-р биол. наук, проф. **Фарида Евсенкожановна Казыбаева** – научный руководитель отдела экологии почв Казахского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова;
- д-р с.-х. наук, проф. **Борис Федорович Апарин** – заведующий кафедрой почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета и научный руководитель Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева;
- д-р биол. наук, проф. **Александр Васильевич Пузанов** – директор Института водных и экологических проблем СО РАН;
- д-р геогр. наук, проф. **Игорь Васильевич Иванов** – главный научный сотрудник Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, председатель Комиссии по истории, философии и социологии почвоведения Общества почвоведов имени В.В. Докучаева.



Поздравления участникам конференции от В.Е. Казыбаевой и И.В. Иванова

Первый доклад на пленарном заседании конференции канд. биол. наук **С.Я. Кудряшовой** посвящен истории создания Института почвоведения и агрохимии в Сибирском отделении Академии наук СССР, основным достижениям Института в изучении почв и освоении земельных ресурсов Сибири. Со времени организации в 1968 г. единственного в азиатской части России научно-исследовательского учреждения почвенно-агрохимического профиля – ИПА СО АН СССР (а позже ИПА СО РАН) – коллективом выполнен ряд фундаментальных исследований по широкому спектру проблем, связанных с изучением специфики почвенного покрова Сибири, его трансформации и экологической значимости.

В докладах пленарного заседания показаны становление, достижения и перспективы научно-исследовательских направлений ИПА СО РАН в области эрозиоведения (д-р биол. наук **А.А. Танасиенко**) и агрохимии (д-р биол. наук **В.Н. Якименко**); представлены итоги работ по рекультивации нарушенных земель (д-р биол. наук **В.А. Андроханов**); рассмотрены агрохимические, биогеохимические и экологические аспекты изучения микроэлементов в Сибири (д-р биол. наук **А.И. Сысо**). Д-р биол. наук, проф. **М.И. Дергачева** ознакомила участников конференции с современным состоянием, проблемами и перспективами в изучении экологии почв. Д-р биол. наук, проф. **А.А. Титлянова** сделала расширенный доклад о Международной биологической программе, которая реализовывалась на территории стационара ИПА СО АН СССР в Карачах. Установлено, что эволюция экосистем на модельной катене, отражающей биогеоценотический покров южной части Западно-Сибирской равнины, идет на фоне постепенного обсыхания территории и направлена в сторону остепнения фитоценозов (Титлянова, 2018).

На пленарном заседании рассмотрены основные проблемы эволюции почв Сибири (д-р геогр. наук, проф. **И.В. Иванов**) и биогеохимические особенности Алтае-Саянской горной страны (д-р биол. наук, проф. **А.В. Пузанов**). В докладе д-ра биол. наук, проф. **Ф.Е. Казыбаева** показаны экологические проблемы почвенного покрова аридной территории Казахстана и пути их решения. Выявлено, что основными зонами экологического стресса и деградации земель в Казахстане являются регионы Прикаспия и Приаралья (Сапаров, Шарыпова, Сапаров, 2018).

Д-р геогр. наук **А.Г. Дюкарев** (ИМКЭС СО РАН) представил результаты агрохозяйственного зонирования Томской области с выделением 11 зон, различающихся качеством почв, агроклиматическими ресурсами и технологическими условиями. Предложено при распределении дотаций сельхозтоваропроизводителям учитывать агрохозяйственные условия и продуктивность труда с целью не только повышения его эффективности, но и для решения социальных задач по сохранению российской деревни (Дюкарев, 2018).

Д-р биол. наук **В.Е. Приходько** (ИФХБПП РАН) выступила с докладом о реконструкции природных условий и почв лесостепи в голоцене в Центральном Черноземье и Западной Сибири. Показана динамика почв, ландшафтов и климата лесостепей в голоцене на основе обобщения палинологических и почвенных данных. Установлено, что развитие лесов и маломощных почв началось в начале бореального периода. В течение голоцена продолжалась колебательная динамика границ леса, степи и почв в соответствии с изменениями климата, которые были метакронны в разных регионах. Показано, что в субатлантический период происходит антропогенное сведение и насаждение лесов и расширение степей (Приходько, 2018).

Д-р с.-х. наук **Б.Ф. Апарин** (Ин-т наук о Земле СПГУ) рассмотрел принципы и структуру прикладной классификации антропогенно-трансформированных почв, дал описание таксономических уровней. Цель данной классификации – интегрировать в рамках самостоятельной классификационной системы антропогенно-измененные и антропогенные почвы по диагностическим признакам, определяющим ресурсный потенциал почв (Апарин, Сухачева 2018).

Канд. биол. наук **Е.Ю. Сухачева** (Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева) говорила о типологии структур почвенного покрова антропогенно-измененных ландшафтов лесной зоны на примере Ленинградской области. В основу типологии положены закономерности в изменении почвенного покрова под влиянием антропогенного фактора: вид и степень преобразования компонентного состава и нарушения межкомпонентных связей. Разработанная типология носит универсальный характер для ландшафтов лесной зоны и может быть использована при создании среднemasштабных почвенных карт (Сухачева, Апарин, 2018).

В заключение пленарного заседания д-р биол. наук, проф. **С.П. Кулижский** рассказал участникам конференции про специфику университетской образовательной модели на примере Национального исследовательского Томского государственного университета.



Выступления на пленарном заседании: Б.Ф. Апарин (слева), С.П. Кулижский (справа)

Секция 1. ЗОНАЛЬНАЯ И ПРОВИНЦИАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА ГЕНЕЗИСА И ЭВОЛЮЦИИ ПОЧВ

На секции заслушано 18 докладов, из них 4 доклада представлены докторами наук, 13 докладов – кандидатами наук и один доклад – научным сотрудником без степени. География докладов охватывает почвы Северного Казахстана, Среднего и Северного Урала, таежную, лесостепную и степную биоклиматические зоны Сибири, Алтае-Саянской горной системы и прилегающую к ней межгорную депрессию хребта Танну-Ола (юг Тувы), Тихоокеанское побережье. В докладах представлены зонально-провинциальные особенности генезиса и эволюции разных типов почв из 4-х стволов и 14-ти отделов почвенной классификации.



Три доклада посвящены провинциальной специфике буроземов Тихоокеанского побережья (канд. биол. наук **Я.О. Тимофеева**), Урала (**И.А. Самофалова**) и Кузнецкого Алатау (канд. биол. наук **Б.А. Смоленцев**). В буроземах Тихоокеанского побережья содержание железисто-марганцевых конкреций составляет 90 и более граммов на 1 кг почвы, поэтому при таком интенсивном сегрегационном процессе не наблюдается осветления почвенного профиля в месте наибольшего скопления конкреций (Тимофеева, 2018). В буроземах Урала установлена информационно-логическая связь между распределением щебня и формированием генетических почвенных признаков, что позволило выявить три направления в генезисе почв (Самофалова, 2018). В структуре почвенного покрова с гумидным климатом Кузнецкого Алатау преобладают литолого-дифференцированные почвенные комбинации, состав которых зависит от мощности мелкозёма, а по площади – бурозёмы типичные и их мозаики с литозёмами серогумусовыми (Смоленцев, Смоленцева, 2018).

В выступлении канд. биол. наук **Д.А. Гаврилова** представлена диагностика средневекового орошения почв Бозокского археологического микрорайона в Северном Казахстане. О специфике генезиса, эволюции и особенностях функционирования почв южного Предбайкалья рассказано в обобщенном докладе из двух материалов конференции канд. биол. наук **А.А. Козловой**. Докладчиком рассмотрены особенности экологических функций почв, основу которых составляют гидротермические свойства, содержание питательных веществ, гумуса и пр. Именно они обеспечивают скорость и интенсивность микробиологической активности почв, состояние фитоценозов (Козлова, 2018).

В двух сообщениях речь шла о дерново-подзолистых почвах со вторым гумусовым горизонтом: д-р геогр. наук **А.Г. Дюкарев** показал эволюционные особенности формирования этих почв в южной тайге Западной Сибири по данным микробиоморфного анализа и фракционного состава гумуса; магистрант Алтайского государственного аграрного университета **В.С. Карелина** рассказала о физико-химических и морфологических особенностях и ферментативной активности данных почв в условиях лесостепной зоны Алтайского края (Карелина, 2018).

Д-р с.-х. наук **Е.Г. Пивоварова** предложила подход к обоснованию «центральных образов» почв подзоны засушливой степи Алтайского края и разработана математическая модель зональных эталонов исследуемых почв. Полученные результаты могут служить не только для диагностики почв, но и для мониторинга за их состоянием (Пивоварова, Вепрынцева, 2018).

Большой интерес проявлен участниками к региональным и зонально-провинциальным особенностям западносибирских черноземов. В докладе **Е.Н. Смоленцевой** показано, что региональной особенностью лесостепных чернозёмов Западной Сибири является бескарбонатная зона между гумусовой толщей и аккумулятивно-карбонатным горизонтом, которая диагностируется как структурно-метаморфический горизонт ВМ. Другим региональным признаком чернозёмов считается укороченная, по сравнению с европейскими аналогами, мощность гумусового профиля и регрессивно-аккумулятивный тип распределения гумуса (Смоленцева, 2018).

Секция 2. ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

Секционное заседание по экологии почв оказалась самым многочисленным и было разделено на два направления: «Проблемы экологии почв» и «Экология почвенной биоты». Из 78 авторов тезисов, опубликованных в первом томе сборника материалов конференции, с гласными докладами на секции выступило 30 участников, включая 5 докторов наук, 15 – кандидатов наук и 15 – научных сотрудников, аспирантов и студентов из исследовательских институтов и ВУЗов.

Открыла работу секции д-р биол. наук, проф. **М.И. Дергачева** с обсуждением состояния экологии почв как самостоятельной науки биосферного класса на данном этапе ее развития и круга основных проблем, которые требуют своего срочного решения (Дергачева, 2018).

Значительное место заняли доклады, связанные с загрязнением агро- и естественных биогеоценозов некоторыми химическими элементами. Так, **Л.М. Марковой** показала данные по исследованию почв садовых товариществ г. Челябинска, находящихся в непосредственной близости от предприятий черной и цветной металлургии, сделав вывод о влиянии минеральной части атмосферных осадков на физико-химические свойства почв (Маркова, 2018). Канд. биол. наук **А.В. Букина** доложила об особенностях аккумуляции и миграции подвижных форм химических элементов в различных типах аллювиальных почв в пойме р. Пышмы Тюменского района (Букин, 2018). **Остроухова Е.Г.** представила расчет биогеохимических показателей накопления и распределения химических элементов в системе «почва-растение» и дала эколого-биогеохимическую характеристику *Matricaria chamomilla* L., произрастающей на фоновых и антропогенно преобразованных территориях юга Западной Сибири (Остроухова, Сысо, 2018).

В двух докладах **А.Д. Котельниковой** речь шла об исследовании редкоземельных элементов из представителей группы лантаноидов. Тестирование генотоксичности лантана, церия и неодима проводилось с применением *Allium*-теста и проращиванием луковиц лука репчатого (*Allium cepa* L.). Показано проявление генотоксичности лантаноидов при концентрациях, близких к фоновым как в растворах, так и в почве (Фастовец и др., 2018). В другой работе проведено тестирование неодима в опытах с использованием двух видов растений – овес обыкновенный (*Avena sativa* L.) и горох посевной (*Pisum sativum* L.). Отмечены тренды на увеличение надземной фитомассы и длины растений ячменя, что можно расценивать как проявление токсичности в отношении высших растений внесенного в почву неодима (Муратова и др., 2018).

Биологический фактор в экологии почв и процессы трансформации луговой растительности лесостепной зоны рассмотрены в выступлении канд. биол. наук **Н.П. Миронычевой-Токаревой**



Установлено, что формирование и антропогенная деградация лугов осуществляется на базе трех исходных типов растительных сообществ: остепненных, настоящих и лесных лугов (Миронычева-Токарева, Шибарева, 2018). В продолжение данной темы прозвучал доклад **С.Л. Куклиной**, где речь шла об изменениях свойств пойменных фитоценозов и почв при пастбищной нагрузке. При неконтролируемом выпасе скота отмечается существенное обеднение фитоценозов, увеличение доли видов растений, устойчивых к переуплотнению почв и многократному стравливанию (Куклина, 2018).

Д-р биол. наук, проф. **И.Н. Безкоровайная** широко представила тему лесных пожаров, влияние пирогенного фактора на почвенные биологические процессы и температурный режим криогенных почв. Выявлены более резкие годовые и суточные колебания почвенных температур для свежих гарей, однако по мере формирования напочвенного покрова и накопления подстилки амплитуда колебаний температур в подстилке и верхнем минеральном слое почвы становится менее заметной (Безкоровайная и др., 2018).

Часть докладов была посвящена исследованию торфов и торфяных почв. Так, канд. биол. наук **Н.Г. Коронатова** подробно описала химический состав торфов Бакчарского болота в южной тайге Западной Сибири, где определены содержание С, N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, установлены группы органических соединений в гексан-хлороформном экстракте торфов и их концентрации (Коронатова, 2018). Участникам заседания также рассказали о процессах деструкции почвенно-органического вещества и эколого-физиологическом статусе микробного комплекса в торфяных почвах (Тулина, Головацкая, Лученок, 2018; Косых, Миронычева-Токарева, Михайлова, 2018; Никонова и др., 2018).

Ряд докладов на секции по экологии почв был посвящен биоиндикационным возможностям почвенного биологического сообщества и гумусовых веществ; представленные результаты свидетельствуют о широкой области применения соответствующих диагностических методов в нарушенных и естественных экосистемах. Так, д-р биол. наук **А.А. Данилова** представила микробные пейзажи как показатели состояния почв, поскольку выявлено основное различие пейзажей целинной и пахотной почвы, заключающееся в значительном преобладании в ненарушенной почве бактерий, развивающихся на живых гифах грибов (Данилова, Напрасникова, 2018). Представлены экологические условия формирования гумусовых веществ на Среднем и Южном Урале (Некрасова Учаев, 2018). Выявлены аналоги между современными почвами и палеопочвами, реконструированы условия формирования палеопочв и особенности изменения палеоэкологической среды в среднем плейстоцене на Южном Урале (Учаев и др., 2018).

Функциональные возможности дождевых червей в формировании таежных почв представлены в докладе **М.Я. Войтехова** (Войтехов, 2018). Рассмотрено влияние опада разных типичных растений таёжной зоны и кислотности подстилающего минерального грунта на жизнеспособность и активность в педотурбациях трёх видов дождевых червей.

Помимо этого были рассмотрены ансамбли почвенных грибов в ризосфере кедровых сосен (канд. биол. наук **Н.Б. Наумова**); изменения биологических характеристик почвы при безотвальных обработках (д-р биол. наук **Л.Н. Коробова**); факторы, контролирующие пространственную неоднородность концентраций углерода в микрокомбинациях суглинистых почв южной тундры Западной Сибири (канд. биол. наук **С.В. Лойко**). В целом доклады, представленные на секционном заседании, раскрыли основные проблемы изучения как теоретических, так и практических аспектов экологии почв и функционирования почвенной биоты как ключевого агента реализации важнейших биосферных функций почвы.



Секция 3. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ

На агрохимическую секцию было подано 27 докладов, в том числе 8 докторами наук и 12 кандидатами наук. В докладах секции представлены и обсуждены результаты исследований, выполненные в различных регионах России, посвященные мониторингу агрохимического и экологического состояния агроценозов.

Магистрант из МГУ им. М.В. Ломоносова **П.Р. Енчилик** представила результаты двух исследований по биогеохимической дифференциации фитомассы южно-таежных ландшафтов, а также содержанию и распределению широкого спектра химических элементов в почвах Центрально-Лесного заповедника. Выявлена роль растений травянистого и древесного ярусов в биогенной миграции химических элементов. В распределении элементов по надземным органам древесных растений прослеживаются разные стратегии накопления: в широколиственных породах наибольшая концентрация происходит в фотосинтезирующих органах растений, а в хвойной породе – в ветках и коре (Енчилик и др., 2018). В латеральной дифференциации в гумусовом горизонте дерново-подзолистых почв южно-таежной катены повышено валовое содержание Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn и Zr. В гумусовом горизонте почв подчиненных ландшафтов (склона и днища временного водотока) повышено содержание обменных Ni, Cu, Sr и Zr, комплексных соединений Ni, Cu и Zn и понижено содержание обменных Co, Cr, Pb, Ti и Zn и комплексных соединений Cr, Ti и Co, а также сорбированных Mn, Ni, Zn, Pb и Zr (Касимов и др., 2018).



Рассмотрена специфика изменения плодородия почв в постагрогенных ландшафтах (Бурдуковский и др., 2018; Телесина, 2018; Сорокина, 2018). Так, в докладе канд. биол. наук **М.Л. Бурдуковского** приведен анализ изменений содержания гумуса и агрегатного состава почв в ходе их постагрогенного развития на примере сукцессионного ряда, включающего пашню и залежи 15, 20, 35 и >60-летнего возраста на юге Дальнего Востока. В бывшем пахотном горизонте сукцессионного ряда «пашня–залежь» отмечается уменьшение средневзвешенного диаметра агрегатов, а также увеличение коэффициента структурности и количества агрономически ценных агрегатов (Бурдуковский и др., 2018). В выступлении канд. биол. наук **Я.О. Телесниной** представлены особенности постагрогенной трансформации почв при разных видах освоения на примере зарастающих сенокосов, пашни и интенсивно удобряемого навозом огорода в Костромской области. Постагрогенная динамика кислотности и содержания органического углерода в почве определяется скоростью лесовосстановления, что зависит от интенсивности окультуривания почвы в прошлом (Телеснина, 2018).



Доктор биол. наук **В.Н. Якименко** (2018) рассмотрел вопросы подразделения калийного фонда почвы на отдельные формы, взаимосвязи почвенных форм калия и предложил параметры оценки калийного состояния почв. **Киселева Н.Д.** подробно рассказала о почвенном покрове и использовании земель Иркутской области на примере Нукутского района. Представлен также анализ современного состояния и производственного потенциала почвенных ресурсов Сибири (Шпедт, Трубников, 2018), затронуты аспекты изменения урожайности и качества сельскохозяйственных культур под влиянием различных факторов (Якутина, Нечаева, Смирнова, 2018) и ряд других интересных почвенно-агрохимических исследований.

Секция 4. ПОЧВЕННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Данная секция была посвящена вопросам в области физики почв, необходимым как для всестороннего и полного понимания важнейших почвенных процессов, так и для обоснования рекомендаций для агротехнической практики. Несмотря на то, что в работе секции участвовали 12 человек, представленные материалы имеют обширную географию исследований.

Канд. биол. наук **Р.И. Зайцева** (ИП им. В.В. Докучаева) рассказала о результатах экспериментальных исследований по оценке солеустойчивости и засухоустойчивости 11 сортов однолетних и многолетних трав. По величине критического осмотического давления, при котором семена всходов не дали, обнаружены различия в уровнях солеустойчивости исследованных сортов трав (Зайцева и др., 2018). Далее заслушаны и обсуждены доклады по вопросам термического режима почв как индикатора гидролого-климатических особенностей геосистем (Копысов, Пеньков, 2018), дистанционного мониторинга тепловых аномалий и сезонного протаивания почв в бассейне рек криолитозоны после пожаров (Пономарев, Пономарева, 2018). В выступлении д-ра биол. наук **Ю.В. Кравцова** представлены основные итоги многолетних почвенно-мелиоративных исследований в Ишимской степи (Кравцов, 2018).

Аспирант Института биологии Коми НЦ УрО РАН **В.В. Старцев** рассказал об особенностях органического вещества и его влиянии на реологические свойства почв Приполярного Урала. Методом денсиметрического фракционирования выделены основные пулы ОВ. Выявлено, что основу составляет тяжелая органоминеральная фракция. Максимальные концентрации углерода установлены в легких фракциях свободного и окклюдированного ОВ. Органическое вещество легких фракций играет ключевое значение при определении реологических параметров устойчивости и пластичности почв (Старцев, Хайдапова, Дымов, 2018).



Вариабельность водно-физических свойств почв Предсалаирья (Новосибирская обл.) рассмотрела канд. биол. наук **Н.А. Шапорина**; она показала, что плотность в пределах пахотного горизонта варьирует от 0,9 до 1,31 г/см³, при среднем показателе 1,04 г/см³ и коэффициентом вариации 9,2%. Вниз по профилю происходит снижение коэффициента вариации с 7 до 2% по мере увеличения плотности с 1,18 до 1,42 г/см³. Влажность варьирует более сложно в зависимости от погодных условий. Установлено, что на распределение изученных свойств в верхних горизонтах почвы оказывает влияние рельеф и микрорельеф участка (Шапорина, Чичулин, 2018).

Во время дискуссий участники почвенно-физической секции активно обсуждали проблемы дистанционного зондирования различных свойств почв и связь полученных данных с данными наземных исследований (Кудряшова и др., 2018). Отдельной проблемой отмечено отсутствие возможности получения данных дистанционного зондирования российского сегмента. Во многих докладах обсуждались вопросы рационального природопользования. Участники подчеркнули междисциплинарность представленных на секционном заседании исследований и необходимость внедрения их результатов в практику.

Секции 5. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ

На секции по рекультивации почв подняты вопросы восстановления нарушенных территорий и предотвращения их негативного влияния. В работе секции приняло участие 9 докладчиков, из них 3 сообщения представлены докторами и 4 – кандидатами наук.

Д-р биол. наук, **Л.П. Капелькина** рассказала о том, что при разработке месторождений полезных ископаемых практически никогда не складываются схожие сочетания природно-климатических и геологических условий. Это, в свою очередь, определяет высокую индивидуальность даже однотипных техногенных ландшафтов, которую необходимо учитывать при выборе направлений и приемов рекультивации (Капелькина, Качубей, 2018). Исследованиями **В.Г. Двуреченского** петрографии и минералогии почв техногенных ландшафтов железорудных месторождений юга Кузбасса установлено, что главным первичным минералом эмбриоземов является кварц; второстепенные минералы представлены типичными пороодообразующими минералами Алтае-Саянской горной страны (Двуреченский, Середина, 2018). Результаты по исследованию динамики почвообразования техноземов, формирующихся на трансформированных ландшафтах Кузнецкой крепостной горы доложила канд. биол. наук **О.И. Подурец**. Она дала развернутую характеристику экологических особенностей техноземов на основе сравнительной оценки их морфологических и физико-химических параметров с черноземами, сохранивших свое естественное сложение на исследуемой территории (Подурец, 2018).



Три доклада посвящены Горловскому антрацитовому месторождению, в настоящее время активно разрабатываемому в Новосибирской области. В сообщении по изучению загрязнения снежного покрова продемонстрировано, что влияние на прилегающие территории, в первую очередь, оказывает не сам угольный разрез, а дороги, по которым осуществляется вывоз добываемого угля (Девятова и др., 2018). **Соколова Н.А.** показала перспективность использования вегетационных индексов NDVI и SAVI для оценки почвенно-экологического состояния техногенных объектов (Соколова, Соколов, 2018). **Шуклина А.Е.** сделала доклад о гранулометрической диагностике процессов

деструкции обломочных пород, протекающих на поверхности отвалов отходов добычи антрацита и дала оценку влияния различных факторов на формирование гранулометрической системы молодых почв техногенных ландшафтов (Шуклина и др., 2018). Д-р биол. наук **В.А. Андроханов** подчеркнул, что основными лимитирующими факторами для восстановления нарушенных земель в условиях Сибири являются низкая водоудерживающая способность грунтов, обусловленная высокой плотностью и низким содержанием фракций физической глины в субстрате отвалов и сформированный после отработки месторождения рельеф. Для повышения эффективности рекультивации необходимо разрабатывать и применять целый комплекс рекультивационных мероприятий, главным назначением которых должно быть создание условий для максимально возможного ускорения процессов почвообразования (Андроханов, Артамонова, 2018).

Секция 6. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ПОЧВ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

На секцию было подано 12 докладов, в том числе 4 докторами и 7 кандидатами наук.

Большой интерес участников заседания вызвал доклад д-ра геогр. наук, проф. **И.В. Иванов** по исследованию изотопа ^{14}C 1) гумусе черноземов погребенных под насыпями валов и курганов на протяжении 70–5500 лет, 2) в пахотных почвах в сравнении с целинными, 3) в целинных черноземах, не загрязненных «бомбовым» ^{14}C (природный фон), 4) в гумусе, загрязненном «бомбовым» ^{14}C в 1960–1990 гг., и самоочистившемся к 2010 г. вследствие процесса самообновления гумуса. Показано, что самообновление гумуса «предкавказских черноземов» происходит быстрее и на большую глубину, чем в средней полосе. Предложен коэффициент поглощения ^{14}C гумусом из атмосферы и его применение для оценки исходной концентрации ^{14}C в почвах на момент погребения (Иванов, 2018).

Канд. биол. наук **Т.В. Пономарева** представила результаты слепожарного мониторинга динамики тепловых аномалий подстилающей поверхности в условиях криолитозоны, полученные на основе многолетних рядов дистанционных спутниковых съемок. Рассмотрены долговременные последствия «фона» в тепловом диапазоне (10,780–11,280 мкм), влияющие на температурный и водный режимы почвенного покрова и поверхностных слоев почвы. Численными методами показано, что нарушения верхних органогенных горизонтов почв и последующие многолетние аномалии температуры поверхности могут приводить к увеличению на 20% относительно среднестатистической нормы глубины протаивания сезонно-талого слоя (Пономарев, Пономарева, 2018).

Доклады канд. геогр. наук **М.А. Каширо** и канд. геогр. наук **А.А. Синюткиной** посвящены результатам георадиолокационных и контактных исследований по оценке состояния и гидроморфной трансформации лесоболотного экотона в зоне Бакчарского болотного массива Большого Васюганского болота. Разработаны и апробированы алгоритмы интерпретации георадарных данных на основе выявления закономерностей затухания волны в зависимости от смены характеристик торфа с глубиной (Каширо и др., 2018). Выявлена зона интенсивной гидроморфной трансформации прилегающих к Бакчарскому болотному массиву территории протяженностью 500 м и более (Синюткина и др., 2018).

Канд. биол. наук **Т.И. Сиромля** подробно рассказала об элементном химическом составе различных видов лекарственных растений юга Западной Сибири. Установлено, что аэрогенное загрязнение вызывает повышенную запыленность видов со специфическими анатомо-морфологическими особенностями – *Artemisia sieversiana* Willd и *Urtica cannabina* L. Это приводит к увеличению валового содержания многих исследованных химических элементов, существенная часть которых находится не в растительных тканях, а в мелкодисперсных почвенных частицах, осевших на их поверхности. Обнаружена статистически значимая разница в элементном химическом составе "запыленных" и "чистых" растений (Сиромля, 2018).

Большое внимание в материалах конференции по шестой секции уделено возможностям использования ГИС-технологий для агропроизводственной группировки почв (Ковалевская, Ефимова, 2018), создания карт засоленных почв (Самойлова, Лопатовская, 2018) и целей почвенного мониторинга (Матыченков и др., 2018). Представлены новые методы изучения емкости катионного обмена органической составляющей в составе катионно-обменного комплекса почв (Кленов, 2018), новые принципы расчета и особенности использования дифференцированных переводных коэффициентов углерода на гумус (Королев, Громовик, 2018). Для изучения образования различных форм цинка в техногенных почвах продемонстрирована пригодность использования методов XANES- и EXAFS-спектроскопии (Минкина и др., 2018). Рассмотрен метод биоиндикации с применением высших растений для оценки токсических свойств почв (Сбитнев и др., 2018). Показана возможность изучения калийного баланса удобрений в почвах при помощи изотопа рубидия 86 (Тихановский, 2018) и определения активной пористости почвы с помощью метода фильтрации меченой воды (Кузьмин и др., 2018). Отмечена важность бонитировки и кадастровой оценки почвенного покрова для обеспечения рационального землепользования (Гранина, 2018; Андреева, 2018).



Подробное изложение представленных в обзоре материалов заинтересованный читатель найдет в двух частях сборника Всероссийской научной конференции с международным участием «Почвы в биосфере» (2018, ч. I и ч. II).

Помимо пленарного и секционных заседаний участники конференции посетили Почвенный музей ИПА СО РАН. **Соколова Н.А.**, ответственная за фонды музея, рассказала гостям о биогеографических особенностях распространения сибирских почв 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. Кроме того, экскурсанты познакомились с историей Института, осмотрели экспозицию научных работ его сотрудников и фотовыставку, посвященную 50-летию ИПА, а также посетили выставку книг, организованную **О.Н. Павловой** в библиотеке Института.

Финальным мероприятием конференции стала полевая почвенная экскурсия «Почвы Предалтайской лесостепной почвенной провинции Западной Сибири (на примере Буготакского мелкосопочника)», проведенная 14 сентября 2018 года. Участники экскурсии отправились в Тогучинский район Новосибирской области и посетили Усть-Каменский противоэрозионный стационар ИПА СО РАН, расположенный в 70 км от г. Новосибирска. В почвенной экскурсии приняли участие 26 человек, в том числе 15 человек из научных и образовательных учреждений России и 11 сотрудников ИПА СО РАН. Участники экскурсии узнали о геоморфологических особенностях Буготакского мелкосопочника и были ознакомлены с актуальными проблемами использования почв региона в условиях современной системы земледелия.



Участники полевой почвенной экскурсии на Усть-Каменском противоэрозионном стационаре ИПА СО РАН

Во время полевой почвенной экскурсии участники конференции провели осмотр шести почвенных разрезов. Пять из них образуют топокатену, включающую четыре пахотные почвы и одну целинную под естественной травянистой растительностью. Еще один почвенный разрез под естественной лесной растительностью продемонстрирован на территории стационара «Усть-Каменский». Почвы под естественной растительностью представляют два зональных типа почв Предалтайской лесостепной почвенной провинции: чернозём оподзоленный (чернозём глинисто-иллювиальный) и серую лесную (серую) почву. Пахотные почвы представлены чернозёмом оподзоленным несмытым (агрочернозём глинисто-иллювиальный), слабо- и среднесмытым (агрочернозём тёмный и агрочернозём тёмный абрадируемый), а также луговато-чернозёмной намытой почвой (агростратозём тёмногумусовый).



Научное сопровождение экскурсии обеспечили сотрудники ИПА СО РАН: заведующий лабораторией почвенно-физических процессов, канд. биол. наук **А.С. Чумбаев** и научный



сотрудник лаборатории географии и генезиса почв **Е.Н. Смоленцева**. Для научно-информационной поддержки экскурсии сотрудниками ИПА СО РАН подготовлен и опубликован путеводитель (**Смоленцева и др., 2018**), содержащий необходимый справочный материал по ландшафтным особенностям территории и результатам лабораторных анализов демонстрируемых почв. В путеводителе приведена развернутая характеристика свойств демонстрируемых почв, особенностей их генезиса и пространственного распределения. Классификационное положение всех представленных почв обосновано в рамках двух отечественных классификационных систем – классификации почв России (2004) и классификации почв СССР (1977), а также международной почвенной классификации WRB (2014). По указанным вопросам развернулась научная дискуссия.

Особое внимание было уделено специфике и механизмам развития почвенно-эрозионных процессов в лесостепной зоне Западной Сибири. **Чумбаев А.С.** представил доклад с демонстрацией фильма об особенностях развития эрозии почв в период снеготаяния на территории Буготакского мелкосопочника и затронул проблемы разработки принципов предотвращения экологического ущерба от водной эрозии. Канд. биол. наук **А.В. Чичулин** сделал доклад о возможностях и проблемах применения датчика влажности EC-5 DECAGON в полевых условиях.

Участники полевой почвенной экскурсии конференции «Почвы в биосфере» высоко оценили организацию и научно-информационное сопровождение мероприятия, в том числе продемонстрированные почвенные объекты и их описание, путеводитель с данными полевых и лабораторных исследований, а также результаты мониторинговых наблюдений, полученные на базе Усть-Каменского противозерозионного стационара. Все желающие смогли отобрать образцы демонстрируемых почв для своих дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение Всероссийской научной конференции «Почвы в биосфере» вызвало большой интерес широкого круга специалистов, преподавателей и студентов в области почвоведения, агро- и биогеохимии, экологии, ландшафтоведения, геоморфологии 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 роли почвы в биосфере.

БЛАГОДАРНОСТИ

Конференция организована и проведена в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Национального исследовательского Томского государственного университета, Новосибирского государственного аграрного университета, Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-04-20066).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева В.Л. Оценка потенциала почвенно-земельных ресурсов территорий Белорусского Поозерья, выполненная на основе анализа структуры почвенного покрова // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 361–366.*
2. Андроханов В.А., Артамонова В.С. Развитие теоретических основ рекультивации нарушенных земель в Сибири // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 294–297.*
3. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Прикладная классификация антропогенно-трансформированных почв // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 298–302.*
4. Безкоровайная И.Н., Климченко А.В., Шабалина О.М., Борисова И.В., Кастерин Г.И. Формирование температурного режима криогенных почв на гарях разного возраста // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 179–182.*
5. Букин А.В. Химический состав аллювиальных почв реки Пышма // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 191–194.*
6. Бурдуковский М.Л., Киселева И.В., Перепелкина П.А., Кошелева Ю.А. Самовосстановление пахотных почв юга Дальнего Востока в результате постагрогенной эволюции // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 34–35.*
7. Войтехов М.Я. О некоторых факторах влияющих на участие дождевых червей в формировании таёжных почв (предварительные данные модельных экспериментов) // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 201–205.*
8. Гранина Н.И. Современные проблемы государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения в Иркутской области // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 371–375.*
9. Данилова А.А., Напрасникова Е.В. Микробные пейзажи как показатели состояния почв // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 215–218.*
10. Двуреченский В.Г., Середина В.П. Петрография и минералогия почв техногенных ландшафтов железорудных месторождений юга Кузбасса // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 310–314.*
11. Девятова А.Ю., Соколов Д.А., Госсен И.Н., Соколова Н.А. Оценка влияния Горловского антрацитового месторождения (Новосибирская обл.) на состояние снежного покрова прилегающих территорий // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 315–320.*
12. Дергачева М.И. Экология почв: теоретические и прикладные аспекты эксперимента // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 222–225.*
13. Дюкарев А.Г. Агрохозяйственное зонирование Томской области на основе качества земельных ресурсов // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 59–63.*
14. Енчилик П.Р., Асеева Е.Н., Семенов И.Н., Терская Е.В., Касимов Н.С. Биогеохимическая дифференциация фитомассы южно-таежных ландшафтов Центрально-Лесного заповедника // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 15–19.*
15. Зайцева Р.И., Чумакова В.В., Володин А.Б., Кравцов В.В., Чумаков В.Ф., Лебедева Н.С. Оценка солеустойчивости проростков однолетних и многолетних трав при хлоридно-сульфатном химизме экспериментально засоленного обыкновенного чернозёма // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 204–206.*
16. Иванов И.В. Изотоп ^{14}C в гумусе черноземов // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 251–255.*

17. Карелина В.С. Дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом лесостепной зоны Алтайского края // *Почвы в биосфере: сб. сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. I. С. 34–36.
18. Капелькина Л.П., Качубей А.А. Освоение недр Сибири и рекультивация нарушенных земель // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 321–325.
19. Касимов Н.С., Семенов И.Н., Асеева Е.Н., Самонова О.А., Енчилик П.Р., Иовчева А.Д., Терская Е.В. Содержание и распределение подвижных форм Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn и Zr в почвах южно-таежной катены на двучленных отложениях Центрально-Лесного заповедника // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 207–210.
20. Каширо М.А., Синюткина А.А., Гаикова Л.П. Особенности интерпретации данных георадиолокационной съемки почвенного покрова лесоболотных экотонов // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 380–385.
21. *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.
22. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
23. Кленов Б.М. Нетрадиционный подход к определению емкости катионного обмена гумусовых кислот // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 385–390.
24. Ковалевская О.М., Ефимова И.А. Применение геоинформационного анализа для изучения агропроизводственных свойств почв // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 375–380.
25. Козлова А.А. Специфика генезиса и эволюции почв южного Предбайкалья // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. I. С. 42–46.
26. Козлова А.А. Особенности функционирования почв южного Предбайкалья // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. I. С. 264–268.
27. Копысов С.Г., Пеньков Н.А. Термический режим почв как индикатор гидролого-климатических особенностей экосистем // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 214–217.
28. Королев В.А., Громолик А.И. Особенности дифференцированных переводных коэффициентов углерода на гумус в пойменных почвах Окско-Донской равнины // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 395–399.
29. Коронатова Н.Г. Химический состав торфов юга западной Сибири: макроэлементы и битуминозные вещества // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. I. С. 276–279.
30. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Михайлова Е.В. Структура запасов растительного вещества и первичная продукция плоскобугристых торфяников // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. I. С. 280–283.
31. Кравцов Ю.В. Основные результаты почвенно-мелиоративных исследований в Ишимской степи // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 221–225.
32. Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С., Пестунов И.А., Безбородова А.Н., Курбатская С.С., Рылов С.А., Синявский Ю.Н., Курбатская С.Г. Исследование структурной и функциональной организации почвенного покрова на основе совместного анализа показателей температурных полей, полученных с использованием наземных измерительных комплексов и спутниковых данных // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 226–229.
33. Кузьмин Е.А., Кузьмин А.Е., Полозов П.Д. Метод определения активной пористости мелиорированных земель // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 399–401.
34. Куклина С.Л. Изменение свойств пойменных фитоценозов и аллювиальных почв в долине реки белой (Прибайкалье) при пастбищной нагрузке // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. I. С. 284–288.
35. Маркова Л.М. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв садовых агроценозов г. Челябинска // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. I. С. 309–313.
36. Матыченков Д.В., Азаренок Т.Н., Шульгина С.В., Шибут Л.И., Матыченкова О.В., Дыдышко С.В. Оценка изменения почвенного покрова по крупномасштабным почвенным картам различных туров обследования с применением ГИС-технологий // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 401–405.
37. Минкина Т.М., Невидомская Д.Г., Бауэр Т.В., Шуваева В.А., Цицуаивили В.С. Использование рентгеноспектральных методов для диагностики видообразования Zn в почвах при техногенном загрязнении // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.)*. Томск, 2018. Ч. II. С. 405–410.

38. Миронычева-Токарева Н.П., Шибарева С.В. Эволюция растительного покрова лесостепной зоны // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 329–332.
39. Муратова М.Е., Котельникова А.Д., Фастовец И.А., Рогова О.Б., Столбова В.В. Воздействие неодама на растения овса (*Avena Sativa* L.) и гороха (*Pisum Sativum* L.) при внесении в почву зоны // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 339–341.
40. Некрасова О.А., Учайев А.П. Экологические аспекты формирования гумусовых веществ на Среднем и Южном Урале // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 342–344.
41. Никонова Л.Г., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Жмурин В.А., Головацкая Е.А. Оценка влияния температуры на скорость разложения растений - торфообразователей в условиях длительного модельного эксперимента // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 247–251.
42. Остроухова Е.Г., Сысо А.И. Содержание и распределение химических элементов в системе почва – *Matricaria Chamomilla* L. // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 349–353.
43. Пивоварова Е.Г., Вепрынцева К.С. Численные методы в разработке центральных образов региональных почв Алтайского края // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 78–82.
44. Подурец О.И. Экологические особенности техноземов Кузнецкой крепостной горы // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 338–341.
45. Пономарев Е.И., Пономарева Т.В. Дистанционный мониторинг тепловых аномалий и сезонного протаивания почв в криолитозоне после пожаров // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 252–257.
46. Пономарева Т.В. Оценка структурной организации почв техногенных ландшафтов на основе радиометрической съемки в тепловом диапазоне // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 410–414.
47. Приходько В.Е. Реконструкция природных условий и почв лесостепи в голоцене в Центральном Черноземье и Западной Сибири // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 86–94.
48. Самойлова Е.А., Лопатовская О.Г. Использование геоинформационного картографирования в исследованиях засоленных почв Кудинской депрессии (Предбайкалье) // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 414–418.
49. Самофалова И.А. Анализ распределения щебня в профиле и генезис буроземов (Средний Урал, хребет Басеги) // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 100–104.
50. Сапаров А.С., Шарыпова Т.М., Сапаров Г.А. Экологические аспекты почвенного покрова аридной территории Казахстана, проблемы и пути решения // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 367–371.
51. Сбитнев А.В., Водянова М.А., Ахальцева Л.В. Приоритетные виды тест-растений в исследованиях по изучению генотоксичности почв и различных поллютантов // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 418–423.
52. Синюткина А.А., Гашикова Л.П., Каширо М.А. Изучение пространственной дифференциации лесоболотных экотонов с использованием методов георадиолокации // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 423–427.
53. Сиромля Т.И. Влияние агрогенного загрязнения на элементный химический состав растений // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 377–381.
54. Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. Состав и структура почвенного покроватерриторий гумидного сектора Кузнецкого Алатау // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 111–115.
55. Смоленцева Е.Н. Региональные и зонально-провинциальные особенности чернозёмов Западной Сибири // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 105–110.
56. Смоленцева Е.Н., Чумбаев А.С., Соколов Д.А., Соколова Н.А. Почвы Предалатайской лесостепной провинции Западной Сибири (на примере Буготакского мелкосопочника) / Путеводитель полевой почвенной экскурсии Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН «Почвы в биосфере» / под ред. Смоленцева Б.А. Томск: Издательский Дом ТГУ, 2018. 50 с.
57. Соколова Н.А., Соколов Д.А. Использование вегетационных индексов для оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов // Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 345–349.

58. Сорокина О.А. Восстановительные сукцессии и динамика плодородия серых почв в постагрогенных ландшафтах лесостепной зоны Красноярского края // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 137–141.*
59. Старцев В.В., Хайдапова Д.Д., Дымов А.А. Органическое вещество и реологические свойства почв приполярного Урала // *Почвы в биосфере: сб. Матер. Всерос. Науч. Конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 270–274.*
60. Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф. Типология антропогенно-измененных СПП // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 434–438.*
61. Телеснина В.М. Динамика свойств почв южной тайги в ходе постагрогенного лесовосстановления при разных типах сельскохозяйственного использования // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 159–163.*
62. Тимофеева Я.О. Характеристика железо-марганцевых конкреций почв // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 400–403.*
63. Титлянова А.А. Работа стационара Карачи, созданного Институтом почвоведения и агрохимии СО АН СССР, по тематике международной биологической программы (МБП) // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 404–407.*
64. Тихановский А.Н. Баланс калия удобрений (с применением 86 Rb) на вечномерзлых почвах // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 446–449.*
65. Тулина А.С., Головацкая Е.А., Лученок Л.Н. Оценка отклика минерализуемого пула торфов и торфяных почв на изменение температуры и влажности // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 275–279.*
66. Учаев А.П., Дергачева М.И., Некрасова О.А., Бажина Н.Л. Палеоэкологические ситуации в среднем плейстоцене на южном Урале // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 411–416.*
67. Фастовец И.А., Котельникова А.Д., Рогова О.Б., Столбова В.В. Проявление генотоксичности лантана, церия и неодима в растворах и почве // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. I. С. 417–420.*
68. 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.). Томск, 2018. Ч. II. С. 280–284.*
69. Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Черноземы Красноярского края: оценка современного состояния и производственного потенциала // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 175–179.*
70. Шуклина А.Е., Соколова Н.А., Худяков С.Е., Госсен И.Н., Соколов Д.А. Оценка факторов дифференциации гранулометрического состава почв техногенных ландшафтов Горловского антрацитового месторождения // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 353–358.*
71. Якименко В.Н. Комплексная оценка калийного состояния почв // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 180–184.*
72. Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Структура урожая и содержание азота, фосфора и калия в товарной продукции яровой пшеницы склоновых агроландшафтов юга Западной Сибири // *Почвы в биосфере: сб. матер. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 10-14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 185–188.*
73. *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 19.12.2018; принята 20.12.2018; опубликована 26.12.2018

Сведения об авторах:

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

Чумбаев Александр Сергеевич – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия), chumbaev@issa-siberia.ru

Смирнова Наталья Валентиновна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); smirnova@issa-siberia.ru

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

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

Худяев Сергей Анатольевич – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); khudayev@issa-siberia.ru

Смоленцева Елена Николаевна – научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия), esmolenceva@issa-siberia.ru

Соколова Наталья Александровна – руководитель Почвенного музея Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); nsokolova@issa-siberia.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/)

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

© 2018 D.A. Sokolov, A.S. Chumbaev, B.A. Smolentsev, N.V. Smirnova, T.V. Nechaeva, V.N. Yakimenko, S.A. Khudayev, E.N. Smolentseva, N.A. Sokolova

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

From 10 to 14 September 2018, Novosibirsk hosted the all-Russian scientific conference with international participation "Soils in the biosphere" (hereinafter – the Conference), dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry (ISSA) SB RAS. The Conference was attended by 140 participants from 35 regions of Russia and the Republic of Kazakhstan. The article gives a brief review of the Conference Proceedings according to its main topics: 1) zonal and provincial specifics of soil genesis and evolution; 2) theoretical and applied aspects of soil ecology; 3) soil fertility and productivity of agricultural lands; 4) actual problems of soil physics research; 5) Reclamation and soil formation in man-made landscapes; 6) state-of-the-art methods and approaches to soil and soil cover studies. At the Conference 112 oral talks (15 plenary and 97 sectional) were given. Materials presented are published in two volumes of the Conference Proceedings "Soils in the biosphere" (2018, [part I](#) and [part II](#)).

The field soil excursion to the Toguchinsky district of the Novosibirsk region took place after the Conference to visit Ust-Kamenka Experimental Station of ISSA SB RAS, specializing mostly in soil erosion studies. The main purpose of the excursion was to show to the Conference participants profiles of the natural and agrogenic soils, get them acquainted with the soil formation environment in the Pre-Altay soil province of the forest-steppe zone of West Siberia, namely in Bugotak hills as one of the geomorphologic areas of this province, and to give an overview of the current problems of land use under present land administration system. The classification of all presented soils according to two national classification systems, i.e. Soil Classification of Russia (2004) and Soil Classification of the USSR (1977), as well as to the World Reference Base of Soil Resources (IUSS, 2014). A comprehensive guide manual "Soils of the Pre-Altai forest-steppe soil province of West Siberia (in the Bugotak hills)" was published ([Smolentseva et al., 2018](#)).

The Conference aroused great interest of many specialists, teachers and students of soil science, agro- and biogeochemistry, ecology, landscape sciences, geomorphology, etc. The Conference reiterated the truth that such events promote experience exchange, strengthen cooperation between researchers from universities and research centers, facilitate advancement of best scientific and methodological achievements and practices, incorporating and generalizing new information about soils in the biosphere.

Key words: conference; soil genesis and evolution; chemical elements; anthropogenic landscapes; soil ecology; agrocenoses; soil cover; soil reclamation; soil physics research

How to cite: 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): 196-217 (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Andreeva V.L. Estimation of the potential of soil-land resources of the territories of the Belarusian Poozerje, implemented on the basis of the analysis of the structure of the soil cover // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 361–366. (in Russian)*
2. Androkhonov V.A., Artamonova V.S. Development of theoretic basis of disturbed territories reclamation in Siberia // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 294–297. (in Russian)*
3. Aparin B.F., Sukhacheva E.I. Applied classification anthropogenically transformed soils // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 298–302. (in Russian)*
4. Bezkorovaynaya I.N., Klimchenko A.V., Shabalina O.M., Borisova I.V., Kasterin G.I. Formation of the temperature of cryogenic soils in post-fire larch forest after fires of a different age // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 179–182. (in Russian)*
5. Bukin A.V. The chemical composition of the alluvial soils of the river Pyshma // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 191–194. (in Russian)*
6. Burdukovskii M.L., Kiseleva I.V., Perepelkina P.A., Kosheleva Yu.A. Self-restoration of arable soils as a result of postagrogenic evolution in the south of Far East region // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 34–35. (in Russian)*
7. Voytehov M.Ya. Some factors influencing the participation of earthworms in the formation of taiga soils (preliminary model experiments data) // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 201–205. (in Russian)*
8. Granina N.I. Contemporary problems of state cadastral valuation of Irkutsk regional lands // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 371–375. (in Russian)*
9. Danilova A.A., Naprasnikova E.V. Microbial landscapes as indicators of soil condition // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 215–218. (in Russian)*
10. Dvurechenskiy V.G., Seredina V.P. Petrography and mineralogy of soils of technogenic landscapes of iron dumps of south Kuzbas // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 310–314. (in Russian)*
11. Devyatova A.Yu., Sokolov D.A., Gossen I.N., Sokolova N.A. Assessment of influence of the Gorlovsky anhracitic field (Novosibirsk region) on a condition of snow cover of adjacent territories // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 315–320. (in Russian)*
12. Dergacheva M.I. Ecology of soils: the teoretical and applied aspects // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 222–225. (in Russian)*
13. Dyukarev A.G. Agricultural zoning of the Tomsk region on the basis of the quality of land resources // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 59–63. (in Russian)*
14. Enchilik P.R., Aseeva E.N., Semenov I.N., Terskaya E.V., Kasimov N.S. Biogeochemical differentiation of the phytomass in southern taiga landscapes of the Central-Forest nature reserve // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 15–19. (in Russian)*
15. Zaitseva R.I., Chumakova V.V., Volodin A.B., Kravtsov V.V., Chumakov V.F., Lebedeva N.S. Evaluation of salt tolerance by sprouts of annual and perennial grasses in chloride-sulfate chemism of experimentally salted ordinary Chernozem // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 204–206. (in Russian)*
16. Ivanov I.V. ¹⁴C isotope in chernozems humus // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 251–255. (in Russian)*
17. Karelina V.S. Sod-podzolic soil with a second humus horizon in forest-steppe zone of the Altai territory // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 34–36. (in Russian)*
18. Kapelkina L.P., Kachubey A.A. The development of the Siberian mineral resources and recultivation of disturbed lands // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 321–325. (in Russian)*
19. Kasimov N.S., Semenov I.N., Aseeva E.N., Samonova O.A., Enchilik P.R., Iovcheva A.D., Terskaya E.V. Vertical and spatial distribution of major and trace elements in the catena at the Central-Forest nature reserve // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 207–210. (in Russian)*
20. Kashiro M.A., Sinyutkina A.A., Gashkova L.P. Peculiarities of data interpretation gpr survey of soil cover of forestbog ecotones // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 380–385. (in Russian)*
21. *Classification and diagnostics of Soils of the USSR* / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Friev. Moscow: Kolos Pbs., 1977. 224 p. (in Russian)
22. *Soil classification of Russia* / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Pbs., 2004. 342 p. (in Russian)
23. Klenov B.M. Unconventional approach to determination of cation exchange capacity of humus acids // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 385–390. (in Russian)*

24. Kovalevskaya O.M., Efimova I.A. The application of GIS analysis to study agricultural industrial soil properties // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 375–380. (in Russian)*
25. Kozlova A.A. Specificity of genesis and evolution of soils in the South Baikal region // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 42–46. (in Russian)*
26. Kozlova A.A. Features of soil in the South Baikal region // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 264–268. (in Russian)*
27. Kopysov S.G., Pen'kov N.A. Thermal soil mode as the indicator of the hydrological-climate features of ecosystems // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 214–217. (in Russian)*
28. Korolev V.A., Gromovik A.I. Features of differentiated conversion factors for carbon in the humus Floodplain soils of the Oka-Don plain // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 395–399. (in Russian)*
29. Koronatova N.G. Peat chemical composition in the south of Western Siberia: macroelements and bituminous substances // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 276–279. (in Russian)*
30. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Mikhailova E.V. Structure of plant matter and net primary production of flat palsa mire // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 280–283. (in Russian)*
31. Kravtsov Yu.V. Main results of soil-meliorative investigations in the Ishim steppe // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 221–225. (in Russian)*
32. Kudryashova S.Ya., Chumbaev A.S., Pestunov I.A., Bezborodova A.N., Kurbatskaya S.S., Rylov S.A., Sinyavskiy Y.N., Kurbatskaya S.G. Investigation of the structural and functional organization of the soil Cover on the basis of a joint analysis of the temperature fields obtained using ground-based measuring complexes and satellite data // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 226–229. (in Russian)*
33. Kuzmin E.A., Kuzmin A.E., Polozov D.S. Method of determination of active porosity of meliorated land // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 399–401. (in Russian)*
34. Kuklina S.L. Changing the properties in floodplain phytocenoses and alluvial soils under pasture influence (Belaya river, Baikal region) // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 284–288. (in Russian)*
35. Markova L.M. Assessment of heavy metal contamination of garden soils of agricultural lands in Chelyabinsk // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 309–313. (in Russian)*
36. Matychenkov D.V., Azarenok T.N., Shulgina S.V., Shibut L.I., Matychenkova O.V., Dydyshko S.V. Assessment of changes in soil cover by large-scale soil maps of different survey tours using GUS-technologies // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 401–405. (in Russian)*
37. Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Bauer T.V., Shuvaeva V.A., Tsitsuashvili V.S. Use of X-Ray-Spectral methods for diagnostics of Zn species in soils under anthropogenic contamination // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 405–410. (in Russian)*
38. Mironycheva-Tokareva N.P., Shibareva S.V. The evolution of the vegetation cover of meadows of the Forest-step zone // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 329–332. (in Russian)*
39. Muratova M.E., Kotelnikova A.D., Fastovets I.A., Rogova O.B., Stolbova V.V. Impact of neodymium applied to the soil on oat (*Avena sativa* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 339–341. (in Russian)*
40. Nekrasova O.A., Uchaev A.P. Environmental conditions of humus substances formation in the Middle and Southern Urals // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 342–344. (in Russian)*
41. Nikonova L.G., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Zhmurin V.A., Golovatskaya E.A. Estimate of the impact of temperature on the dynamics and decomposition rate of peat-forming plants in a model incubation long-term experiment // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 247–251. (in Russian)*
42. Ostroukhova E.G., Syso A.I. The content and distribution of chemical elements in the soil-plant system with chamomile *Matricaria Chamomilla* L. // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 349–353. (in Russian)*
43. Pivovarova E.G., Vepryntseva K.S. Numerical methods in development of the central images of regional soils of Altai Krai // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 78–82. (in Russian)*
44. Podurets O.I. Ecological features of Technosemes Kuznetsky foreign mountain // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 338–341. (in Russian)*

45. Ponomarev E.I., Ponomareva T.V. Remote monitoring of thermal anomalies and seasonal thawing of soils in the permafrost zone after wildfires // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 252–257.* (in Russian)
46. Ponomareva T.V. Estimation of the structural organization of soils of technogenic landscapes based on radiometric survey in the thermal range // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 410–414.* (in Russian)
47. Prikhodko V.E. Reconstruction of natural conditions and soils of the Holocene in forest-steppe of the Central Chernozemic Area and Western Siberia // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 86–94.* (in Russian)
48. Samoilova E.A., Lopatovskaya O.G. Geoinformation mapping in research of saline soils of Kudrinskaya depression (Baikal region) // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 414–418.* (in Russian)
49. Samofalova I.A. Analysis of the distribution of the gravel in the profile and the genesis of the brown soils (Medium Ural, Basegi ridge) // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 100–104.* (in Russian)
50. Saparov A.S., Sharypova T.M., Saparov G.A. Environmental aspects of soil surface of the arid territory of Kazakhstan, problems and solutions // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 367–371.* (in Russian)
51. Sbitnev A.V., Vodyanova M.A., Akhaltseva L.V. Key test-plant species in genotoxicity studies of soils and different pollutants // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 418–423.* (in Russian)
52. Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Kashiro M.A. Georadiolocation studies of the spatial differentiation of forest and mire ecotons // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 423–427.* (in Russian)
53. Siromlya T.I. Effect of aerogenic contamination on the chemical elements composition of plants // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 377–381.* (in Russian)
54. Smolentsev B.A., Smolentseva E.N. Components and structure of the soil cover in the territories with humid climate of Kuznetsky Alatau // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 111–115.* (in Russian)
55. Smolentseva E.N. Regional and zonal-provincial features of chernozems of Western Siberia // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 105–110.* (in Russian)
56. Smolentseva E.N., Chumbaev A.S., Sokolov D.A., Sokolova N.A. Soils of the Pre-Altai forest-steppe soil province of West Siberia (on the example of Bugotakskiy hills) / *Guidebook of the field soil excursion of the Russian scientific conference with International Participation «Soils in the biosphere» dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of RAS / by red. Smolentsev B.A. Tomsk: Publishing House TGU, 2018. 50 p.*
57. Sokolova N.A., Sokolov D.A. Using of vegetation indices for evaluation of soil-ecology condition of man-caused landscapes // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 345–349.* (in Russian)
58. Sorokina O.A. Restorative successions and dynamics of the fertility of gray soils in the postagrogene landscapes of the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk territory // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 137–141.* (in Russian)
59. Startsev V.V., Khaydapova D.D., Dymov A.A. Soil organic matter and rheological properties of soils of the Subpolar Urals // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 270–274.* (in Russian)
60. Sukhacheva E.I., Aparin B.F. Typology of anthropogenically modified SPP // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 434–438.* (in Russian)
61. Telesnina V.M. Dynamic of south taiga soil properties due to post-agrogenic reforestation for different types of agricultural using // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 159–163.* (in Russian)
62. Timofeeva Ya.O. Characteristics of iron-manganese nodules from the soils of the pacific ocean coast // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 400–403.* (in Russian)
63. Titlyanova A.A. The international biological program (1968-1974) research conducted at the Karachi experimental station of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the USSR SB AS // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 404–407.* (in Russian)
64. Tikhanovsky A.N. The balance of potassium fertilizer (using ^{86}Rb) on permafrost soils // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 446–449.* (in Russian)

65. Tulina A.S., Golovatskaya E.A., Luchenok L.N. Response of mineralizable pool of peats and peat soils to changes in temperature and moisture // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 275–279. (in Russian)*
66. Uchaev A.P., Dergacheva M.I., Nekrasova O.A., Bazhina N.L. Paleoecological situations in the middle pleistocene in the Southern Urals // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 411–416. (in Russian)*
67. Fastovets I.A., Kotelnikova A.D., Rogova O.B., Stolbova V.V. Genotoxic effects of lanthanum, cerium and neodymium in the solution and soil // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part I. p. 417–420. (in Russian)*
68. Shaporina N.A., Chichulin A.V. Variability of water-physical soil properties Pedaleira // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 280–286. (in Russian)*
69. Shpedt A.A., Trubnikov Yu.N. Chernozems of the Krasnoyarsk region: assessment of the current state and production potential // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 175–179. (in Russian)*
70. Shuklina A.E., Sokolova N.A., Khudyakov S.E., Gossen I.N., Sokolov D.A. Evaluation of the factors of the granulometric composition differentiation in the soils of man-caused landscapes of the Gorlovsky antracite field // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 353–358. (in Russian)*
71. Yakimenko V.N. Complex estimation of soil potassium status // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 180–184. (in Russian)*
72. Yakutina O.P., Nechaeva T.B., Smirnova N.B. Yield structure, nitrogen, phosphorus and potassium content in marketable products of spring wheat at slopes of agro-landscapes in the south of Western Siberia // *Soils in the biosphere: Proc. of the Rus. Sci. Conf. (Novosibirsk, 10-14 September 2018). Tomsk, 2018. Part II. p. 185–188. (in Russian)*
73. [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 19 December 2018

Accepted 20 December 2018

Published 26 December 2018

About the authors:

Sokolov Denis A. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); sokolovdenis@issa-siberia.ru

Chumbaev Aleksandr S. – Candidate of Biological Sciences, Head of 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); chumbaev@issa-siberia.ru

Smirnova Natalya V. – Candidate of Biol. Sci. Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); smirnova@issa-siberia.ru

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

Yakimenko Vladimir N. – 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

Khudayev Sergey A. – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of biogeochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); khudayev@issa-siberia.ru

Smolentseva Elena N. – Researcher in the Laboratory of Soil Geography and Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); esmolenceva@issa-siberia.ru

Sokolova Natalia A. – Head of Soil Museum in Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); nsokolova@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/)

**ФОРМИРОВАНИЕ ГУМУСОВОГО ПРОФИЛЯ ПОЧВ В ДЛИТЕЛЬНО-ПРОИЗВОДНЫХ ЛЕСАХ ВАСЮГАНСКОЙ РАВНИНЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

© 2018 Н.В. Климова, А.Г. Дюкарев

Адрес: ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический проспект 10/3, г.Томск, 634055, Россия. E-mail: klimnin@sibmail.com

Цель исследования. Выявить особенности формирования и голоценовой эволюции гумусового профиля почв в длительно-производных лесах Васюганской равнины.

Место и время проведения. Васюганская равнина, центральная часть южно-таёжной подзоны на территории Обь-Иртышского междуречья. Березняки травяные (разнотравно-осоковые, осоково-вейниковые). Приведены результаты многолетних исследований.

Методология. Комплексные исследования почвенного и растительного покрова, палеогеографические реконструкции на основе анализа фракционного состава гумуса и микробиоморфных спектров.

Основные результаты. В современных почвах Васюганской равнины выявлены признаки характерные для ландшафтов более южных территорий: повышенная продуктивность напочвенного покрова и соответственно активность гумусово-аккумулятивных процессов. По данным анализа фракционного состава гумуса и микробиоморфного анализа современного и реликтового гумусового горизонта выявлено, что в разные климатические эпохи голоцена на Васюганской равнине формировались схожие растительные сообщества – высокопродуктивные лиственные леса, обеспечивающие в разной степени сохранность реликтовых гумусовых горизонтов почв.

Заключение. Выявленные в почвах и растительных сообществах исследованных лесов южные черты связаны не только со сменой климатических условий, но и карбонатностью почвообразующих пород, обеспечивающих замедление восстановительных циклов коренной растительности на стадии травяных лиственных лесов. Выявленное сходство фитолитных комплексов современных и реликтовых гумусовых горизонтов при различиях во фракционном составе гумуса отражает относительную устойчивость травяных березняков к климатическим колебаниям и подчеркивает маятниковую эволюцию гумусовых горизонтов с различным сочетанием продолжительности этапов их деградации и проградации.

Ключевые слова: Васюганская равнина; длительно-производные леса; современные и реликтовые гумусовые горизонты; микробиоморфный анализ; фракционный состав гумуса; эволюция почв.

Цитирование: Климова Н.В., Дюкарев А.Г. Формирование гумусового профиля почв в длительно-производных лесах Васюганской равнины // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(4). С.218–230.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных проблем в почвоведении остается объяснение происхождения почв со сложным строением гумусового профиля, включающего как современный, так и реликтовый горизонт. История изучения «второго», а по своей сути первого гумусового горизонта связана с началом исследований почвенного покрова Западной Сибири. Именно на юге таёжной зоны, а точнее на территории современной Васюганской равнины, первыми исследователями (А.Я. Гордягин, Д.А. Драницын, Р.С. Ильин, А.В. Отрыганьев) отмечен феномен присутствия в почвенном профиле «вторых» гумусовых горизонтов. В дальнейшем ареал распространения почв со вторым гумусовым горизонтом расширен на всю территорию бореальных и суббореальных лесов. Именно эти исследования послужили основанием гипотезы изменения климата, растительных и ландшафтных границ. Обзоры исследований генезиса и эволюции почв со вторым гумусовым горизонтом широко известны и достаточно полно представлены ранее (Гаджиев, 1982; Дюкарев, 2005). Из предложенных к настоящему времени гипотез, как для территории Западной Сибири, так и сопредельных территорий Восточно-Европейской равнины (Александровский, 1983) наиболее обосновано предположение о реликтовой природе вторых гумусовых горизонтов, в котором они рассматриваются как нижние, сохранившиеся части более мощных органофильных почв, сформировавшихся на исследованной территории ранее, в теплых и влажных условиях атлантического оптимума голоцена. Однако основные исследования в этом направлении проведены на почвах под зональными темнохвойными лесами (Гаджиев, 1982; Гаврилов, 2016), и

мало внимания уделено лиственным лесам, являющимся на суглинистых отложениях Васюганской равнины непременным атрибутом восстановительной динамики зональной растительности. Между тем, развитие их, вероятно, подчиняется другим закономерностям, поскольку на современном этапе эти леса относятся к длительно-производным – восстановление темнохвойного полога в них подавляется густым травяным покровом, что связано с карбонатностью почвообразующих пород, возможно, и с осолодением почв, и высокой гидроморфностью территории (Уфимцева 1974; Дюкарев, Пологова, 2011). Почвообразование здесь отличается от почвообразования под типичными для южной тайги темнохвойными лесами и протекает в условиях более высокой биологической активности, поступления на поверхность растительного опада, отличающегося как по количественным, так и качественным характеристикам. В настоящее время более половины лесопокрытой площади южнотаежной подзоны Западной Сибири приходится на лиственные осиновые и большей частью березовые леса (Бех, 1992), то же наблюдается и на юге Васюганской равнины (Храмов, Валуцкий 1977). К сохранившимся на приподнятых дренированных поверхностях коренным лесам здесь приурочены дерновые оподзоленные и дерново-подзолистые остаточнo-гумусовые (со вторым гумусовым горизонтом) почвы. А с длительно-производными лиственными лесами связаны в своем распространении почвы со сложным строением гумусового профиля (органo-аккумулятивные темно- и серо-гумусовые) с высокой активностью современного и сохранностью признаков реликтового гумусонакопления. Формирование их объясняется не только цикличностью климата в голоцене, но и естественной биологической цикличностью развития лесных экосистем на ландшафтно-геохимических границах – на юге лесной зоны, где условия для произрастания древесных видов становятся напряженными (Лашинский, 2009), взаимосвязи между почвенным и растительным компонентами ландшафта нарушаются, признаки климатической зональности в почвенном и растительном покрове приобретают островной характер.

Исследования проведены с целью выявления особенностей формирования сложного по строению гумусового профиля почв в циклах восстановительно-возрастной динамики лесов на ландшафтно-геохимических границах Васюганской равнины (Западная Сибирь, южная тайга).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по выявлению значимости длительно-производных лиственных лесов в генезисе остаточнo-гумусовых (со вторым горизонтом) почв проведены на территории Васюганской равнины (рис. 1), сложенной карбонатными глинами и суглинками. Некоторыми исследователями отмечается солонцеватость отложений, что связывается с ее примыканием к сложенной засоленными грунтами Барабинской равнине (Ильин, 1930; Казанцев, 1998). В условиях плоского рельефа, превышения количества осадков над испарением, низкой водопроницаемости почвообразующих пород, слабой дренирующей способности рек, почвенно-грунтовые и грунтовые воды повсеместно встречаются на глубине не более 3 м, и постоянно подпитываются водами, стекающими с обширных водораздельных болот (Ружанский, 1972).

Растительный и почвенный покров весьма неоднородный и определяется удаленностью от болотного массива, локальных условий дренированности и выщелоченности почвообразующих пород. В почвенном покрове господствуют гидроморфные, с различной мощностью торфяных отложений, и полугидроморфные органo-аккумулятивные почвы с различной сохранностью палеогумусовых горизонтов. На дренированных поверхностях формируются органo-аккумулятивные дерновые оподзоленные, реже дерново-подзолистые остаточнo-гумусовые высококовскипающие почвы (Дюкарев, Пологова, 2011). И те, и другие в своем распространении тесно связаны с лиственными травяными лесными сообществами, находящимися на разных стадиях восстановления коренных темнохвойных лесов. Реликтовая часть гумусового профиля выделяется во всех исследованных почвах. Радиоуглеродный возраст реликтового горизонта, определенного по гуминовым кислотам, варьирует от 4 до 6 тыс. лет (Гаджиев, 1982). Степень его сохранности варьирует от темно-серого, почти черного, сливающегося по окраске с современным, горизонтом, до сероватых пятен в элювиальной части и гумусовых потеков в верхней части иллювиального профиля. Чем выше дренированность местоположений, тем интенсивнее трансформация гумусового горизонта и степень элювиально-иллювиальной дифференциации профиля, выщелоченность карбонатов. Мощность элювиальной части профиля на всех этапах эволюции в целом соответствует исходной мощности гумусового горизонта (Дюкарев, 2005).

Признаки реликтового гумусонакопления в виде отдельных пятен и сероватых тонов окраски долгие всего сохраняются в нижней части элювиального профиля.

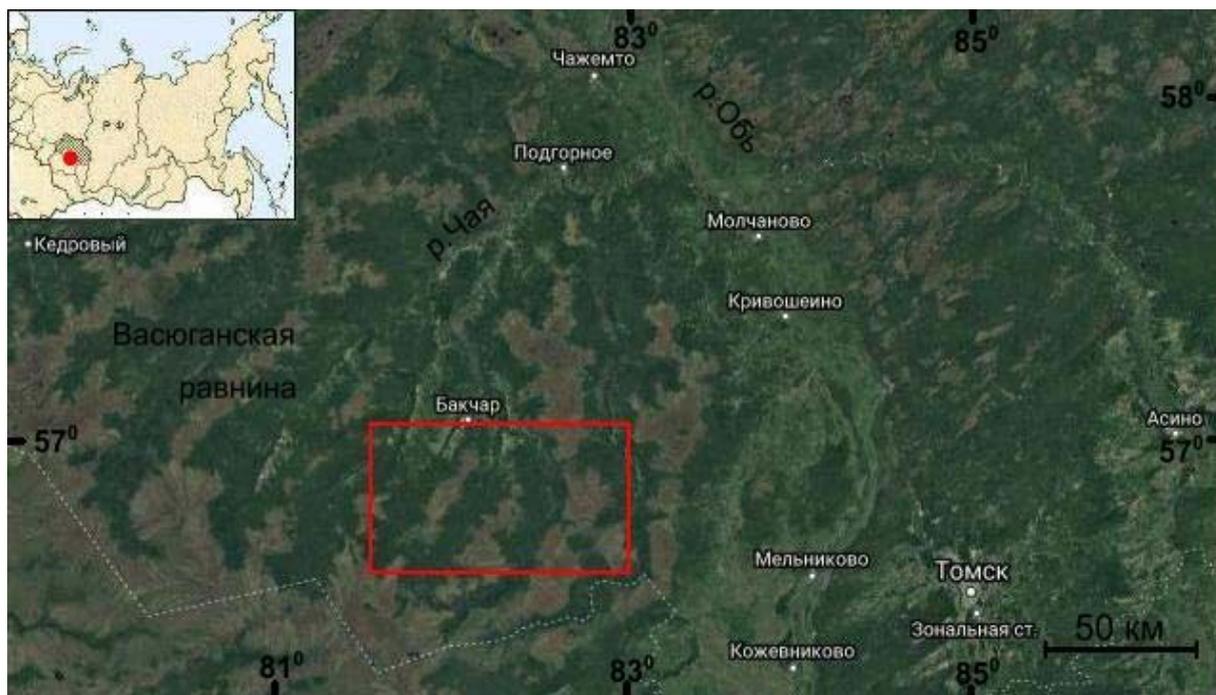


Рисунок 1. Карта района исследований (использован фрагмент космоснимка с сайта <https://www.google.com/maps>).

Обобщенная схема строения профиля органо-аккумулятивных почв представляется следующим образом: дерновый горизонт мощностью до 10 см (Aw), серогумусовый горизонт (AY) мощностью 15–30 см под которым залегает хорошо оструктуренный темногоумусовый горизонт (AU) или реликтовый остаточно-гумусовый (Ahh) горизонт с нижней границей на глубине 35–45 см. Переходный к почвообразующей породе горизонт только в оподзоленных почвах несет признаки иллювиирования (Vi). Чаще выделяется гидрометаморфический (Q) горизонт или горизонт с признаками метаморфизма (Vm). Глубина залегания карбонатов варьирует в нешироких пределах: от 65 до 85 см. Почвы крайнего элювиального ряда, несмотря на то, что глубина выщелачивания карбонатов существенно не меняется, по морфологическим признакам близки к дерново-подзолистым. В иллювиальной части профиля здесь отмечается высокая потечность гумуса. Толщина гумусовых пленок на стенках трещин достигает 2–3 мм. Мощность же собственно текстурного горизонта невелика и составляет 35–45 см (Дюкарев, Пологова, 2011).

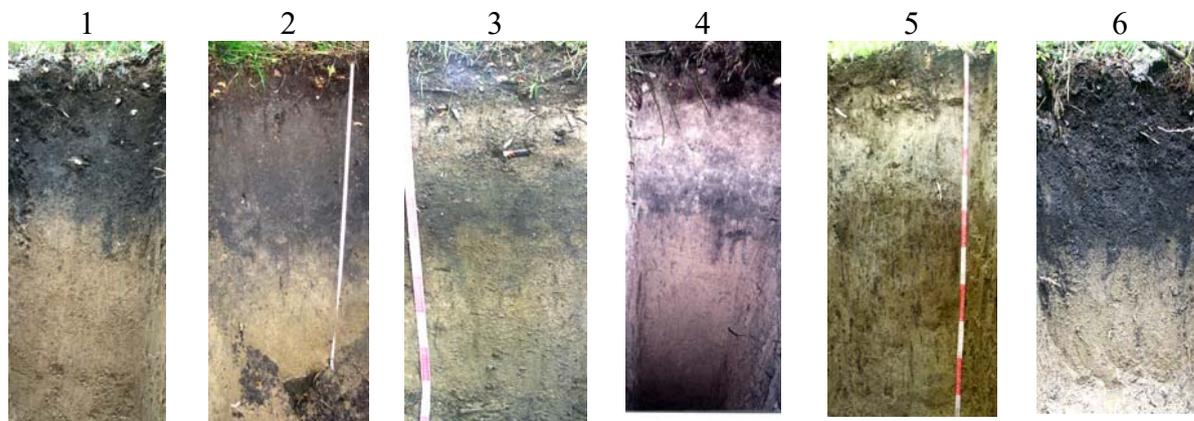


Рисунок 2. Основные типы почв южной тайги со сложным строением гумусового профиля. Обозначения в тексте.

В элювиальном ряду органо-аккумулятивных почв, формирующихся на карбонатных глинах в центральной части Обь-Иртышского междуречья, нами исследованы (рис. 2):

- 1 – органо-аккумулятивные темно-гумусовые (AW-AU-Auh-Cca);
- 2 – органо-аккумулятивные типичные остаточно-гумусовые (AW-AY-Auh-Cca);
- 3 – органо-аккумулятивные оподзоленные остаточно-гумусовые (AW-AY-Ael-Auh-Bm-Cca);
- 4 – дерново-подзолистые остаточно-гумусовые (AW-AEL-EL-AUh-Bt-Cca);
- 5 – дерново-подзолистые потечно-гумусовые (AW-EL-BThi-Cca)

Для сравнения в качестве аналога тех почв, которые, согласно гипотезе о происхождении реликтовых гумусовых горизонтов (Гаджиев, 1982; Дюкарев, 2005), формировались в атлантическом периоде голоцена, исследованы

- 6 - гумусово-гидрометаморфические почвы подтайги.

Классификация почв и горизонтов дана в соответствии с классификацией почв России 2004 года (Классификация ..., 2004; Дюкарев, Пологова, 2011).

К органо-аккумулятивным почвам приурочены лиственные травяные леса. При сомкнутом древостое из осины (*Populus tremula*) и березы пушистой (*Betula pubescens*) высотой 22–25 м, диаметром 25–35 см, подрост в них очень редкий (до 500 экз/га), из темнохвойных и лиственных видов высотой 2–4(7) м, что позволяет относить эти сообщества к длительно-производным. Подлесок хорошо развит (5–25 %), травяной ярус густой (45–95 %). В соответствии со сводкой (Лашинский, Королук, 2015), по флористическому составу эти сообщества – южнотаежные: основу их составляют виды, дифференцирующие южнотаежные леса (*Caragana arborescens*, *Rosa acicularis*, *Sorbus sibirica*, *Carex macroura*, *Calamagrostis obtusata*, *Stellaria bungeana*), значительное участие принимают виды общие для южнотаежных и подтаежных лесов (*Padus avium*, *Rubus idaeus*, *Aegopodium podagraria*, *Rubus saxatilis*, *Pulmonaria mollis*). На дерново-подзолистых почвах развиты темнохвойные травяные леса (Храмов, Валуцкий, 1977; Лашинский, Королук, 2015). Древесный полог в них слагают пихта (*Abies sibirica*), кедр (*Pinus sibirica*) и ель (*Picea obovata*) с участием березы и осины. В подросте (до 8 тысяч экз/га) представлены те же виды, преобладает пихта. Подлесок из *Sorbus sibirica*, *Rubus idaeus*, *Ribes spicatum*, *Padus avium*, *Caragana arborescens* и др. Основу густого (до 70 %) травяного яруса составляют *Carex macroura*, *Calamagrostis obtusata*, *Oxalis acetosella*, *Stellaria bungeana*, *Dryopteris carthusiana*, *Equisetum pratense* и др. Мхи не образуют сплошного покрова и приурочены в основном к старым валежинам (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Rhytidiadelphus triquetrus*). Полугидроморфные экотопы с перегнойно-органо-аккумулятивными почвами заняты лиственными лесами с признаками начального заболачивания. Древостой в них, как и в автоморфных местообитаниях, – из березы и осины. Подрост – редкий, с участием кедра и ели. Напочвенный покров густой (45–70 %), в нем доминируют более влаголюбивые виды – *Calamagrostis phragmitoides* с участием осок *Carex globularis*, *C. canescens*, *C. vaginata* и трав *Filipendula ulmaria*, *Equisetum sylvaticum* и др. Моховой покров (3–30 %) представлен лесоболотными видами (*Plagiomnium ellipticum*, *Calliergon cordifolium*, *Climacium dendroides*, *Sphagnum squarrosum*).

Оценку химических и физических параметров почв проводили общепринятыми в почвоведении методами. Для изучения фракционного состава гумуса использовали метод И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой, Т.А. Плотниковой (1975). Подготовка почв для микробиоморфного анализа проведена по стандартной методике (Гольева, 2001). Микробиоморфная фракция в исследованных почвах представлена главным образом растительным детритом и фитолитами. Идентификацию фитолитов проводили в соответствии с экологической классификацией морфотипов А.А. Гольевой (2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование органо-аккумулятивных почв Васюганской равнины показало, что общими для них являются слабая по сравнению с типичными дерново-подзолистыми почвами дифференциация по гранулометрическому составу и хорошая оструктуренность гумусовых горизонтов. Главным отличием является сложное строение гумусового профиля, что определяется их положением в пространственно-временном ряду между почвами северной лесостепи и дерново-подзолистыми почвами южной тайги. На южных границах ареала органо-аккумулятивные почвы имеют мощный (до 50 см) гумусово-аккумулятивный горизонт темно-серого или даже черного цвета (AU), с высоким (6–8 %) содержанием гумуса (рис. 3). К северным границам ареала под влиянием кислых лесных подстилок происходит деградация темно-гумусового горизонта и

формирование на его месте буровато-серого (AY) горизонта типично таежного облика с содержанием гумуса 4–6 %. Реликтовые (вторые) гумусовые горизонты в темно-гумусовых, и особенно в гумусово-гидрометаморфических почвах сливаются с современным горизонтом и обнаруживаются только при определении возраста и по свойствам органического вещества. В дерновых органо-аккумулятивных почвах реликтовый горизонт проявляется по более темной, чем в современном горизонте, окраске и агрегированности. Содержание гумуса в нем, несмотря на темный цвет, редко превышает 2 % (рис 3). В дерновых оподзоленных и дерново-подзолистых почвах реликтовый горизонт выделяется фрагментарно, однако ясно прослеживаются признаки потечного гумуса в иллювиальной части профиля в виде натечных образований на поверхности агрегатов. Мощность гумусовых пленок на вертикальных стенках трещин достигает 2–3 мм, а проникают они на всю глубину иллювиального горизонта. Нижняя граница элювиально-гумусового профиля, независимо от положения в классификационном ряду почв, залегает на глубине 45–55 см. По сравнению с типичными для южной тайги дерново-подзолистыми почвами, органо-аккумулятивные почвы отличаются более равномерным профильным распределением гумуса и резко выраженной нижней границей гумусового горизонта.

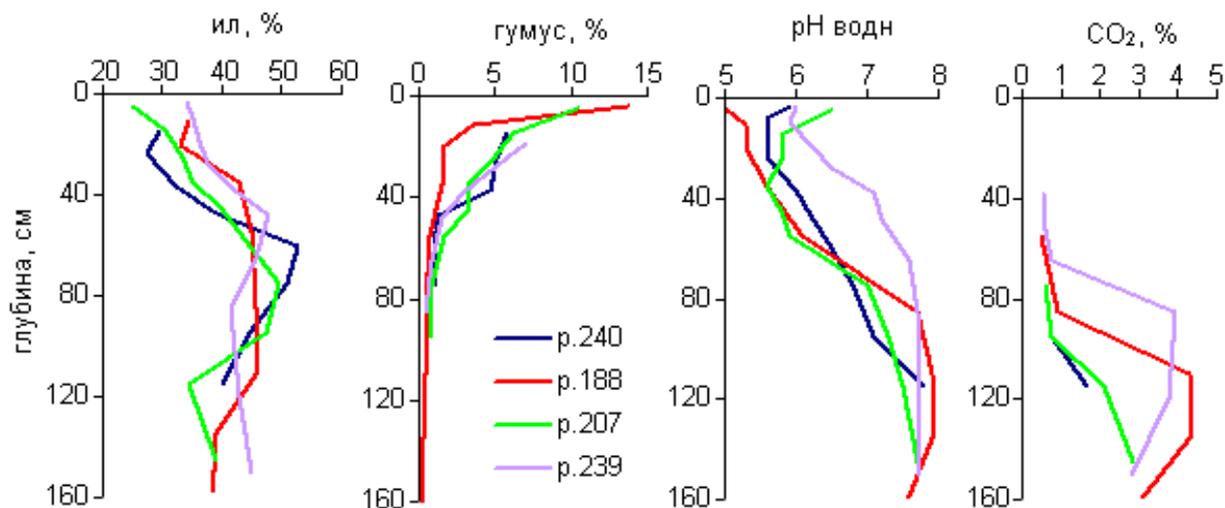


Рисунок 3. Свойства органо-аккумулятивных остаточно-гумусовых почв южной тайги Западной Сибири. Почвы: р. 240 – дерновая органо-аккумулятивная оподзоленная; р. 188 – дерновая органо-аккумулятивная; р. 207 – темно-гумусовая органо-аккумулятивная; р. 239 – гумусово-гидрометаморфическая

Отмечена высокая контрастность органо-аккумулятивных почв по кислотно-щелочным свойствам: слабокислая реакция в подподстильных горизонтах, нейтральная в гумусовых и слабощелочная в подгумусовой части (рис. 3). Глубина выщелачивания карбонатов варьирует в нешироких пределах: от 65 до 85 см. Это связано с высокой карбонатностью и тяжелым гранулометрическим составом почвообразующих пород. Специфической особенностью почв является присутствие в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) одновалентных катионов К и Na, что было отмечено еще К.А. Уфимцевой (1974). Даже незначительное содержание (2–4 % от ППК) приводит к проявлению процессов слитизации гумусового горизонта при переменном увлажнении и потечности гумуса, ухудшает технологические свойства почв.

Близкое залегание карбонатов и солонцеватость почвообразующих пород обеспечивают высокую насыщенность ППК основаниями, предотвращает глубокую деградацию гумусового профиля. Трансформации подвергается только самая верхняя часть гумусового горизонта, испытывающая действие кислых продуктов распада лесных подстилок. Под подстилкой формируется, как правило, осветленный гумусовый (AY) горизонт мощностью до 15 см. Ниже сохраняется темный гумусовый (Au) горизонт. Принципиальных изменений гранулометрического состава не происходит. Однако в условиях высокой насыщенности ППК натрием и калием, при нарастании увлажнения происходит диспергация и переагрегация почв. В темных гумусовых горизонтах ухудшаются фильтрационные свойства и водно-воздушный режим. Они становятся водоупором, обеспечивающим переход почвы в новое качественное состояние – из полугидроморфной (заболоченной) в гидроморфную (болотную) (Дюкарев, Пологова, 2011).

Свойства гумусовых профилей тесно связаны с составом и продуктивностью растительных сообществ. Так, в производных лиственных лесах продуктивность травяного яруса составляет 30–56 ц/га (в абсолютно-сухом состоянии). По сравнению с коренными лесами, основу опада составляют не хвоя, а листья, меньше участие мхов и значительно больше – трав. Формируется травяно-древесная по составу подстилка мощностью до 5 см, массой 118–164 ц/га. В полугидроморфных условиях ложбин и понижений продуктивность травяного яруса лиственных лесов составляет 23–34 ц/га. Состав опада тоже травяно-древесный. Однако здесь в условиях повышенного поверхностного увлажнения, связанного с разгрузкой вод со стороны водораздельных болот, минерализация опада замедлена, что ведет к формированию более мощных (до 10 см) подстилок массой 163–183 ц/га, характеризующихся высокой зольностью (до 17 %), а в гидроморфных условиях – оторфованного горизонта мощностью до 15 см.

Качественный состав гумуса отражает различия в генезисе гумусовых горизонтов. Современный горизонт дерновых оподзоленных почв формируется в соответствии с климатическими условиями юга таежной зоны и имеет фульватно-гуматный состав гумуса. В условиях воздействия продуктов распада кислых лесных подстилок под коренными темнохвойными лесами высока подвижность оксидов металлов, что объясняет и высокое содержание в почвах первой фракции гуминовых кислот (рис. 4, табл. 1). По этой же причине в современных гумусовых горизонтах низкое содержание фракций связанных с кальцием. Фульвокислоты имеют относительно равномерное распределение. Отношение Сгк/Сфк варьирует от 1,1 до 1,6. При нарастании увлажнения и развитии элювиальных процессов, подвижность гумуса возрастает, а в его составе уменьшается доля гуминовых кислот. Отношение Сгк/Сфк изменяется от 0,9–1,2 в оподзоленных почвах до 1,2–1,5 в гидрогенно трансформированных. В темно-гумусовых типах повышается доля гуминовых кислот связанных с Ca^{++} и оксидами металлов при неизменном содержании фульвокислот. Отношение Сгк/Сфк более широкое (1,6–1,8). В составе гуминовых кислот преобладает первая, наиболее подвижная фракция.

Остаточно-гумусовые горизонты характеризуются повышенным содержанием гуминовых кислот, уменьшением доли агрессивных фульвокислот (фракции 1 и 1a) и самым широким в профиле отношением Сгк/Сфк (более 2,0). Отмечено увеличение содержания фракций связанных с кальцием, как среди гуминовых, так и среди фульвокислот.

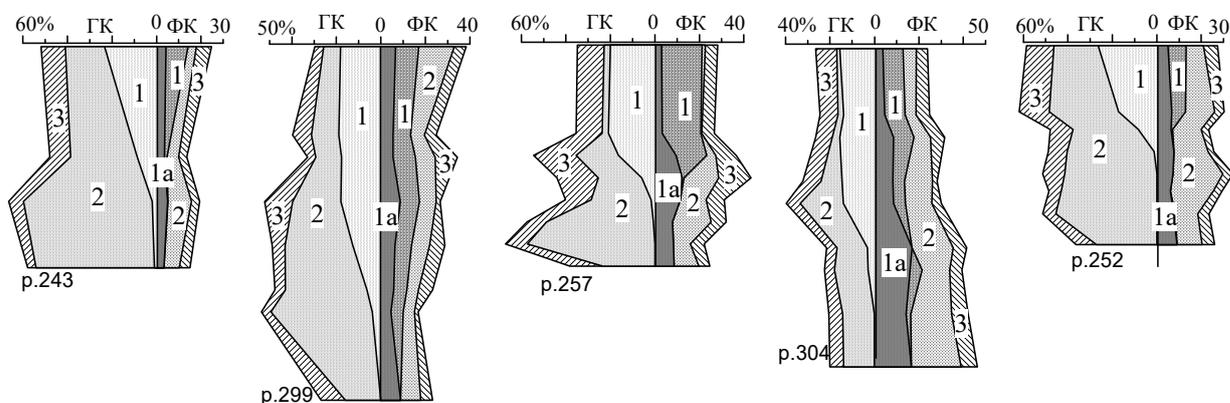


Рисунок 4. Состав гумуса исследованных почв. Обозначения почв как на рис. 3.

В фитолитных комплексах горизонтов современной активной аккумуляции гумуса преобладают формы двудольных трав и луговых злаков, меньше степных и лесных форм злаков, фитоциты хвойных не обнаружены (рис. 5). Варьирование состава напочвенного покрова соответствующих фитоценозов выражается главным образом в изменении доли степных форм злаков: в разнотравно-осочковых сообществах на северной границе ареала органо-аккумулятивных почв она не превышает 5–7 % (20 % форм злаков), а в разнотравно-злаковых сообществах на южной границе их ареала увеличивается до 15 % (25 % форм злаков). В фитолитных комплексах остаточно-гумусовых горизонтов наблюдаются в целом тот же набор и соотношение морфотипов кремниевых частиц. Выявленные комплексы очень близки к современному комплексу фитоцитов гумусово-гидрометаморфической почвы, которая считается аналогичной почвам атлантического оптимума голоцена.

Таблица 1. Основные показатели гумусного состояния почв

Горизонт	Глубина, см	рН вод.	<0,01	CO ₂ карб.	C _{общ}	Гк1	Гк2	Гк3	Гк	Фк-1a	E ^{0,001%С} _{465нм 1см}	Сгк/Сфк
			%			% от суммы ГК						
Органо-аккумулятивная темногумусовая насыщенная (5)												
AW	10	6.8	56.6	0.37	5.6	14	53'	32''	40''	4		1.53
AU	23	7.2	60.6	0.34	4.2	6	70''	25''	38'	3		2.17
Au	41	7.4	65.5	0.36	1.9	2	80''	17'	45''	4		2.81
Органо-аккумулятивная темногумусовая (n=7)												
AW	9	5.8	56.5	-	5.7	56'	13	31''	34.6	4	0.14*	1.12
AU	25	6.2	61.9	-	3.8	46'	37	17'	42''	6'	0.21	1.70
Au	48	6.6	66.8	0.86	1.8	8	75''	17'	51''	6'	0.25	2.17
Органо-аккумулятивная дерновая (серогумусовая) остаточно-гумусовая (n=5)												
AW	7	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AУ	29	5.5	60.9	-	2.9	45'	38	17'	39'	6'	0.25*	1.41
Au	50	5.9	64.0	0.93	1.8	12	79''	9	51''	5	0.31	2.70
Органо-аккумулятивная оподзоленная остаточно-гумусовая (n=6)												
AW	12	5.3	57.9	-	7.2	59'	9	32''	42''	4	0.09*	1.45
AУе	30	5.6	62.2	-	1.7	28	45'	27''	39'	10'	0.15	1.15
Au	44	6.1	67.8	0.81	1.2	20	65''	15'	52''	9'	0.26	1.95
Дерново-подзолистая остаточно-гумусовая (n=5)												
AV	12	5.1	51.2	-	3.6	61''	16	23''	36'	6'		1.26
AEL	26	4.8	56.7	-	1.7	59'	21	20'	34'	13'		0.95
Au	38	5.0	57.4	-	1.6	52'	41'	7	54''	7'		2.02
Дерново-подзолистая потечно-гумусовая (n=3)												
AW	8	5.2	51.2	-	3.9	54'	10	36''	26	5	0.20	1.08
EL	25	4.9	54.1	-	1.6	52'	14	33''	22	9'	0.16	0.79
ELu	35	5.2	53.9	-	0.9	39	40	21'	36'	8'	0.42	1.23
Перегноино-гумусовая гидрометаморфическая (n=3)												
HW	20	6.1	56.4	-	9.5	36	42'	22'	60''	6'	0.16	2.10
AU	31	6.5	63.2	0.76	3.5	14	64''	22'	52''	6'	0.21	1.91
Au	47	7.0	68.5	0.75	1.7	1	88''	11'	57''	5	0.27	2.71

Примечание: знаками показано, что характер признака и доля участия фракций гуминовых кислот оценивается как: ' – средняя; '' – высокая; ''' – очень высокая. * текст.

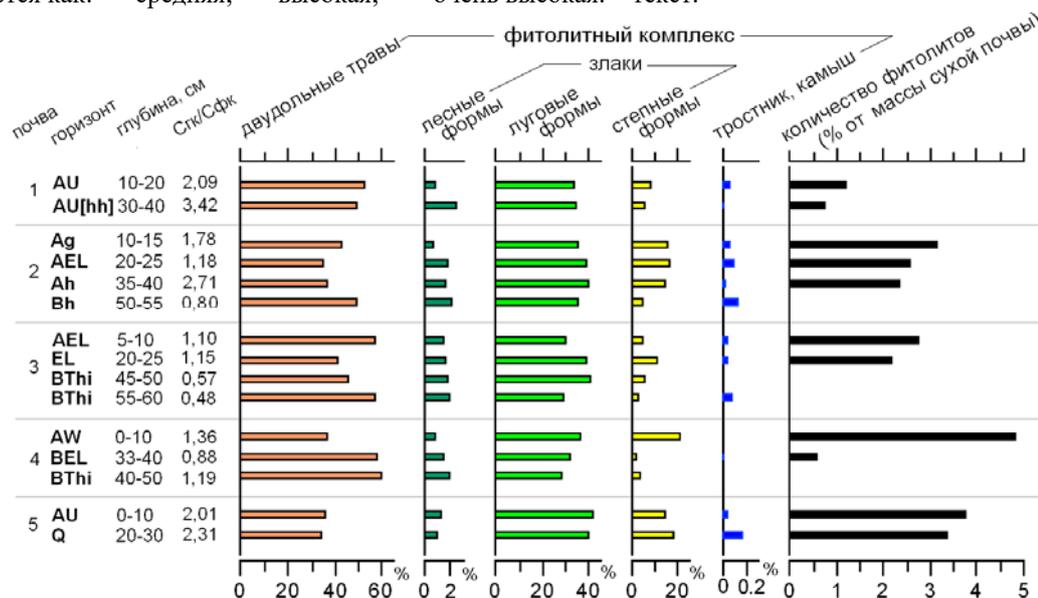


Рисунок 5. Содержание экологических групп морфотипов в фитолитных комплексах современных и реликтовых гумусовых горизонтов органо-аккумулятивной (1) и дерново-подзолистых остаточно-осолоделых (2–4) почв; а также в гумусово-гидрометаморфической почве – аналоге почв атлантического оптимума голоцена (5).

ОБСУЖДЕНИЕ

Ландшафтная сущность почвообразования проявляется в том, что почва формируется и развивается вместе с ландшафтом. Поэтому каждому типу ландшафта соответствует определенный тип почвообразовательного процесса и почвенного профиля. Для почв, формирующихся на ландшафтно-геохимических границах при высокой динамичности климата, характерно сочетание в профиле разного типа почвообразовательных процессов. Здесь формируются сложные по строению почвенные профили.

Особенностью исследуемой территории является богатство почвообразующих пород, что сдерживает деградацию почв и растительности при изменении климата. При напряженных условиях нейтрального кальций-гумусового ландшафта на Васюганской равнине формируется весьма неоднородная структура почвенного и растительного покрова. На дренированных поверхностях, где карбонаты выщелочены глубже, формируются близкие к зональным типы леса с классической схемой лесообразовательного процесса и элювиальным типом почвообразования. Признаки реликтового гумусонакопления здесь сохраняются слабо.

На слабодренированных территориях с неглубоко выщелоченными карбонатами и высоким уровнем увлажнения формируются почвы с высокой активностью процессов гумусонакопления. Повышенное содержание гумуса (до 6–8 %), насыщенность ППК основаниями, слабокислая реакция, несвойственные зональным типам, сближают их с почвами более южных территорий. На основании этих признаков К.А. Уфимцева выделяла их в отдельную группу проградированных почв (1974). Их формирование во многом связано с тесным взаимодействием с приуроченными к ним растительными сообществами – травяными листовыми лесами. По сравнению с хвоей и мхами, листья и травы, составляющие основу опада в этих лесах, отличаются большей скоростью разложения, продукты распада менее кислые (Козловская с соавт., 1978; Гришина, 1986). Это определяет и менее кислую реакцию даже в верхних горизонтах органо-аккумулятивных почв, активизирует процессы гумусонакопления, препятствует развитию элювиальных процессов. В свою очередь, для формирующихся здесь фитоценозов отмечена высокая продуктивность травяного покрова, сравнимая с продуктивностью подтаежных растительных сообществ (Дюкарев и др., 2000; Ефремова, Ефремов, 2013; Титлянова, Шибарева, 2012). Мощные подстилки отличаются высокой зольностью и по свойствам близки к подстилкам эвтрофных болотных березняков (Ефремова и др., 2010). Хорошо развитый травяной покров с преобладанием густодерновинных видов (*Carex macroura*, *Calamagrostis obtusata*) препятствует восстановлению темнохвойного древесного полога подобно тому, как это происходит в длительно-производных сообществах подтайги (Лацинский, 2009). Избыточное увлажнение почв в гидроморфных местообитаниях также не способствует восстановлению коренной растительности. Таким образом, даже при недостатке тепла создаются условия для формирования продуктивных лесных сообществ характерных для более южных территорий. Этого достаточно для накопления на поверхности значительных объемов органического материала и стабильности гумусонакопления.

Как показывают исследования гумуса органо-аккумулятивных темно-гумусовых почв южной тайги и гумусово-гидрометаморфических почв подтайги, реликтовая часть гумусового профиля отличается от современной как по морфологическим, так и по химическим свойствам. Резко выраженная нижняя граница гумусового горизонта, большая доля гуминовых кислот в составе гумуса, увеличение содержания фракций, связанных с кальцием как среди гуминовых так и среди фульвокислот – признаки не характерные для южнотаежных дерново-подзолистых почв, указывающие на «лесостепное» происхождение реликтовых гумусовых горизонтов (Гаджиев, 1982; Караваева и др., 1985; Каллас, Кубрина, 2008). В то же время, фульватно-гуматный состав современного гумусового горизонта, как и южнотаежный состав фитоценозов, больше соответствует современным климатическим условиям. Тем не менее, на слабодренированных территориях, на всех этапах формирования почв сохранялись условия для высокой активности гумусообразования и распространения преимущественно листовых лесов. Подтверждается это и исследованиями фитолитных комплексов гумусовых горизонтов, в которых отсутствуют формы, диагностирующие развитие темнохвойного леса. То же показывают реконструкции палинологическим методом (Бляхарчук, 2000), согласно которым 5 тысяч лет назад на Васюганской равнине были широко распространены березовые леса.

Все остальные экотопы занимают промежуточное положение в эволюционном ряду и в соответствии с ним различаются степенью развития элювиального почвообразования и

сохранности реликтового гумусового горизонта. Следует отметить, что прослеживается связь между сохранностью реликтового гумусового горизонта и стадийностью лесообразовательного процесса. Чем больше растянут по времени лесовосстановительный процесс, тем выше сохранность реликтового гумусового горизонта. Это связано с сукцессионной динамикой почвообразования. На стадии коренных темнохвойных лесов, под кислыми лесными подстилками, идет деградация гумусового горизонта. На восстановительном этапе под травяными березовыми лесами идет активизация гумусонакопления и некоторое восстановление гумусового горизонта. Нами отмечено в травяных лесах активное проникновение корней в реликтовый горизонт. Следовательно, и здесь отмечается «подновление» и омоложение гумуса, что выявляется и при датировании южнотаежных почв по разным материалам (Гаврилов и др., 2017). Возможно, именно поэтому в длительно-производных лесах отмечена более высокая сохранность как современных, так и реликтовых гумусовых горизонтов. Таким образом, восстановительно-возрастная динамика лесных экосистем включает как этапы деградации почв, так и их восстановление. Такую цикличность мы отмечаем как маятниковую эволюцию почвообразования. Однако с учетом продолжительности восстановительного цикла в лесных экосистемах, особенно заметной на ландшафтно-геохимических границах, каждый последующий почвообразовательный цикл происходит в несколько иных ландшафтных, прежде всего климатических условиях. Чем продолжительнее этап восстановления (стадия лиственных лесов), тем более выражены как современный, так и реликтовый горизонты. В коренных лесах на глубоковыщелоченных породах стадия восстановления ограничивается только одним поколением лиственных лесов, поэтому проградация гумусового горизонта здесь практически незаметна – развивается в классическом виде элювиальное почвообразование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование почв и растительности Васюганской равнины позволило выявить новые механизмы эволюции почв, связанные с динамикой лесообразовательного процесса. Продолжительность же этапа восстановления коренной темнохвойной растительности в свою очередь определяется почвенно-геохимическими условиями – богатством почв и выщелоченностью почвообразующих пород. Для сложенной карбонатными почвообразующими породами территории Васюганской равнины отмечается широкое распространение длительно-производных лиственных лесов, заметно отличающихся по составу и продуктивности от коренных темнохвойных, что замедляет процессы деградации как современных, так и реликтовых гумусовых горизонтов. Продолжительность восстановительного этапа лесообразовательного процесса с формированием травяных лиственных лесов и его соотношение с продолжительностью этапа зональных темнохвойных типов леса, определяет активность современного гумусонакопления, сохранность реликтового гумусового горизонта и элювиальную трансформированность профиля почв. Этот комплекс условий обуславливает относительную устойчивость этих сообществ к климатическим колебаниям. Эволюция же гумусового профиля приобретает маятниковый характер, в котором этапы деградации чередуются с восстановительными этапами. Размах колебаний и общее развитие почв связаны не только с изменениями климата, но и с соотношением продолжительности этапа восстановления коренных темнохвойных лесов. Полученные результаты подтверждают важность комплексного подхода с применением различных методов, что значительно расширяет возможности исследования, позволяя уточнять детали и выявлять дополнительные закономерности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа проведена в рамках базового проекта СО РАН IX.135.1.3. «Экосистемные изменения в Сибири: локальные, региональные и глобальные аспекты».

ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский А. Л. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене. М.: Наука, 1983. 150 с.
2. Бех И.А. Антропогенная трансформация таежных лесов. Новосибирск: Наука, 1992. 200 с.
3. Бляхарчук Т.А. История растительности юго-востока Западной Сибири в голоцене по данным ботанического и спорово-пыльцевого анализа торфа // Сибирский экологический журнал, 2000. Т.7. № 5. С. 659–668.

4. *Гаврилов Д.А.* Генезис второго гумусового горизонта почв Васюганской наклонной равнины // Бюлл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 85. С. 3–19. doi: [10.19047/0136-1694-2016-85-5-19](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-5-19)
5. *Гаврилов Д.А., Лойко С.В., Лада Н.Ю., Климова Н.В.* Радиоуглеродный возраст гумусово-элювиальной части полигенетических почв южной тайги Западной Сибири // *Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века*. Сборник матер. Всерос. науч. конф. Новосибирск, 2017. С. 38–41.
6. *Гаджиев И.М.* Эволюция почв тайги Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1982. 278 с.
7. *Гольева А.А.* Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М., 2001. 200 с.
8. *Гришина Л.А.* Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
9. *Дюкарев А.Г.* Ландшафтно-динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 284 с.
10. *Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н.* Почвы Васюганской равнины со сложным органопрофилем // *Почвоведение*. 2011. № 5. С. 525–538.
11. *Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н., Мульдьяров Е.Я.* Луговое почвообразование в подтайге Западной Сибири // *Почвоведение*. 2000. № 9. С. 1064–1069.
12. *Ефремова Т.Т., Ефремов С.П.* Природа кислотных свойств подстилки болотных березняков // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2013. № 2. С. 205–219.
13. *Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф.* О сопряженности морфогенетических типов подстилок с их свойствами в болотных березняках // *Почвоведение*. 2010. № 8. С. 920–928.
14. *Ильин Р.С.* Природа Нарымского края // *Материалы по изучению Сибири*. Томск, 1930. Т. II. 344 с.
15. *Казанцев В.А.* Проблемы педогалогенеза. Новосибирск: Наука, 1998. 280 с.
16. *Каллас Е.В., Кубрина Е.В.* Специфика гумусового профиля лугово-черноземных почв южной тайги Западной Сибири // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2008. № 1. С. 63–70.
17. *Караваева Н.А., Соколова Т.А., Целищева Л.К.* Почвообразовательные процессы и эволюция гидрогенных почв подтайги – южной тайги в голоцене // *Процессы почвообразования и эволюция почв*. М.: Наука, 1985. с. 139–201.
18. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
19. *Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И.* Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л.: Наука, 1978. 176 с.
20. *Лащинский Н.Н.* Растительность Салаирского кряжа. Новосибирск: Гео, 2009. 263 с.
21. *Лащинский Н.Н., Королюк А.Ю.* Синтаксономия темнохвойных зональных лесов южной тайги Западно-Сибирской равнины и гумидных низкогорий Алтае-Саянской горной области // *Растительность России*. 2015. № 26. С. 85–107.
22. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л., 1975. 105 с.
23. *Ружанский В.В.* Гидрогеологические условия // *Природные условия освоения междуречья Обь–Иртыш*. М., 1972. С. 32–36.
24. *Титлянова А.А., Шибарева С.В.* Подстилки в лесных и травяных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 137 с.
25. *Уфимцева К.А.* Почвы южной части таежной зоны Западно-Сибирской равнины. М.: Колос, 1974. 202 с.
26. *Храмов А.А., Валуцкий В.И.* Лесные и болотные фитоценозы Восточного Васюганья. Новосибирск: Наука, 1977. 222 с.

Поступила в редакцию 07.11.2018

Принята 13.12.2018

Опубликована 26.12.2018

Сведения об авторах:

Климова Нина Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск, Россия); klimnin@sibmail.com

Дюкарев Анатолий Григорьевич – доктор географических наук, заведующая лабораторией мониторинга лесных экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск, Россия); dag@imces.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/)

FORMATION OF SOIL HUMUS PROFILE UNDER LONG-DERIVATIVE FORESTS ON THE VASYUGAN PLAIN (WEST SIBERIA, RUSSIA)

© 2018 N.V. Klimova, A.G. Dukarev

Address: Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia. Email: klimnin@sibmail.com

Humus profile formation in southern Vasyugan plain is closely related to its parent rocks ranging from carbonaceous clays and heavy loams. Carbonates ensure slowing down of restoration cycles of the indigenous vegetation at the stage of grass deciduous forests (for more than one generation), because well developed grass cover dominated by bunch grasses impedes restoration of dark coniferous species. This gives an insular pattern to some features of climatic zonality due to different soil-vegetation relationship between zonal and successional derivative communities. Plant and soil cover determine local conditions for soil drainage and leaching.

*In contrast to zonal forest communities with tree storey composed of dark conifers, growing on sod podsollic soils with residual humus horizons, under revegetating deciduous forests soil formation takes place under higher soil biological activity due to differing quantity and quality of plant matter input. The well drained areas under aspen and birch forest with understorey dominated by herbs and grasses (the most abundant species being *Betula pubescens*, *Populus tremula*, *Carex macroura*, *Aegopodium podagraria*, *Calamagrostis obtusata*, *Equisetum pratense*, *Rubus saxatilis*) are occupied by organic matter accumulating soddy podzolized soils with carbonate-containing layers close to the surface. In semihydromorphic and hydromorphic biotopes under smallreed aspen-birch forests (the most abundant species being *Betula pubescens*, *Populus tremula*, *Calamagrostis phragmitoides*, *Carex globularis*, *Equisetum sylvaticum*, *Filipendula ulmaria*) organic matter accumulating soils with varying thickness of the humus/peat horizons are common. The species composition of such plant communities corresponds to the one typical for the southern taiga, but their production characteristics are closer to those common for the more southern communities of the northern forest-steppe with 3–5 t/ha (dry mass) of phytomass. Phytomass mineralization rate is higher, and leaves and grass decomposition products are less acidic as compared with zonal forests, where plant litter is rich in needles and mosses. As a result, organic matter accumulating soils under such communities developed some features, more common for their southern counterparts, distinguishing them from the soddy podzolic soils and making them more like the humus-accumulating soils in the northern forest-steppe. These soils have weak granulometric differentiation and well developed structure of the humus horizon. Humus content is quite high, reaching in the southernmost part of the soil area 6–8% in humus accumulating horizons (AU) 50 cm thick. The northernmost parts of the area see the decreased thickness of the dark humus horizon where the latter is substituted with brownish-gray (AY) horizon common for the taiga soils with 4–6% humus content. Organic matter accumulating soil profiles were found to be contrasting in pH(H₂O), as the latter increased from 5.5–6.0 in layers immediately below the litter to the neutral values of 6.0–7.0 in humus horizons and 7.0–7.5 in subsoil horizons. High location of carbonates and solonetz properties of parent rock results in high (75–95%) saturation of soil absorbing complex with basic elements, also preventing drastic degradation of humus profile, as only the topmost part of the humus horizon was found to be affected by acidic products of forest litter decomposition.*

The relic part of the soil profile can be seen in all studied soils. The radiocarbon age of the relic horizons, as determined by humic acids, ranged 4,000–6,000 years. Humus quality reflects differences in humus horizon genesis. Contemporary horizon of soddy podzolised soils is formed due to climatic conditions of the southern taiga zone and has humic to fulvic acids ratio of 1.2–1.4 and low content of Ca-bound acids, while residual humus horizons were found to have increased humic acid content, decreased fulvic acids content of aggressive I and Ia fractions, the highest ratio of humic to fulvic acid carbon of 1.8–2.1 and increased content of their Ca-bound fractions. These features, as well as a very low boundary of humus horizon indicate relic humus formation under more southern, i.e. forest-steppe, environmental conditions. The microbiomorph fraction of humus horizons was found to be dominated by plant detritus and phytoliths. The phytoliths assemblages of the contemporary and relic humus horizons were quite similar with notable absence of coniferous phytoliths. All these suggest that organic matter accumulating soils formation under different climatic conditions in late Holocene was related to phytocenoses similar to grassy deciduous forests.

The study revealed that both contemporary humus accumulation and relic humus preservation are negatively correlated with eluvial process rate. So successional dynamics of forest communities determines the pendulum nature of soil evolution. The stage of native dark coniferous forests is characterized by humus horizon degradation under acidic forest litter. The restoration stage of grassy birch forests accelerates humus accumulation and partial restoration of both contemporary and relic humus profiles, which is more explicit with the longer duration of this successional stage.

Key words: Vasyugan plain; long-derivative forests; contemporary and relic humus horizons; microbiomorph analysis; humus fractional composition; soil evolution

How to cite: Klimova N.V., Dukarev A.G. F Formation of soil humus profiles under long-derivative forests on the Vasyugan plain // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(4): 218-230. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Alexandrovskiy A.L. The evolution of the soils of the East European Plain in the Holocene. Moscow, Nauka Pbs., 1983, 150 p. (in Russian)
2. Bech I.A. Anthropogenic transformation of taiga forests. Novosibirsk, Nauka Pbs., 1992, 200 p. (in Russian)
3. Blyakharchuk T.A. History of Vegetation in the South-East of West Siberia in Holocene by the Data of Botanic and Spore-Pollen Analysis of Peat, *Siberian Ecological Journal*, 2000, № 5, p. 659–668. (in Russian)
4. Gavrilov D.A. The Genesis of the Second Humus Horizon on the Plateau of Vasyugan Sloping Plain, *Bulletin of Dokuchaev Soil Science Institute*, 2016, V. 85, p. 3–19. doi: [10.19047/0136-1694-2016-85-5-19](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-5-19) (in Russian)
5. Gavrilov D.A., Loyko S.V., Lada N.Yu., Klimova N.V. Radio-Carbon Age of the Humus-Eluvial Part of the Polygenetic Soils in the Southern Taiga of Western Siberia. In book: *Soil resources of Siberia: challenges of the XXI century. Proceedings of Russian Scientific Conference, Novosibirsk, 2017*, p. 38–41. (in Russian)
6. Gadzhiev I.M. The Evolution of the Soils of the Taiga of Western Siberia. Novosibirsk, Nauka Pbs., 1982, 278 p. (in Russian)
7. Golyeva A.A. Phytoliths and their Information Role in Natural and Archaeological Objects, Moscow, 2001, 200 p. (in Russian with English Summary)
8. Grishina L.A. Humus Formation and Soil Humus Condition. Moscow, MSU Publishing House, 1986, 244 p. (in Russian)
9. Dyukarev A.G. Landscape-Dynamic Aspects of Soil Formation in the Taiga of Western Siberia. Tomsk, Scientific and technical literature, 2005, 284 p. (in Russian)
10. Dyukarev A.G., Pologova N.N. Soils with Complex Organic Profiles on the Vasyugan Plain, *Eurasian Soil Science*, 2011, V. 44, No 5, p. 480–492.
11. Dyukarev A.G., Pologova N.N., Mul'diyarov E.Ya. Meadow Soil Formation in the Subtaiga Zone of Western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2000, Vol. 33, No 9, p. 928–933.
12. Efremova T.T., Efremov S.P. Nature of Acidic Properties of Litter in Bog Birch Forests, *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2013, No 2, p. 205–219. (in Russian)
13. Efremova T.T., Efremov S.P., Avrova A.F. Correlation between the Morphogenetic Types of Litter and their Properties in Bog Birch Forests, *Eurasian Soil Science*, 2010, V. 43, No 8, p. 858–866.
14. Il'in R.S. Nature of the Narym Territory. In book: *Materials on the Study of Siberia. Tomsk, 1930*, Vol. 2, 344 p. (in Russian)
15. Kazantsev V.A. Pedohalogenesis Problems. Novosibirsk, Nauka Pbs., 1998, 280 p. (in Russian)
16. Kallas E.V., Kubrina E.V. The Specifics of the Humus Profile of the Meadow-Chernozem Soils of the Southern Taiga of Western Siberia, *Tomsk State University Journal of Biology*, 2008, №1, p. 63–70. (in Russian)
17. Karavaeva N.A., Sokolova T.A., Tselishcheva L.K. Soil Formation Processes and the Evolution of Hydrogenic Soils of Subtaiga – Southern Taiga in the Holocene. In book: *Soil Formation Processes and Soil Evolution. Moscow, Nauka Pbs., 1985*, p. 139–201. (in Russian)
18. *Soil classification of Russia* / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Pbs., 2004. 342 p. (in Russian)
19. Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., P'yavchenko N.I. Dynamics of Organic Matter in the Process of Peat Formation. Leningrad, Nauka Pbs., 1978, 176 p. (in Russian)
20. Lashchinskyi N.N. Vegetation of the Salair Ridge. Novosibirsk, Geo, 2009, 263 p. (in Russian)
21. Lashchinskyi N.N., Korolyuk A.Yu. Syntaxonomy of Zonal Dark-Coniferous Forests of Southern Taiga of the West Siberian Plain and of Humid Low-Mountains of the Altai-Sayan Mountain Region, *Vegetation of Russia*, 2015, No 26, p. 85–107. (in Russian)
22. Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. Guidelines for Determining the Content and Composition of Humus in Soils (Mineral and Peat). Leningrad, 1975, 105 p. (in Russian)
23. Ruzhanskyi V.V. Hydrogeological conditions. In book: *Natural Conditions of Development between the Ob'–Irtysk. Moscow, 1972*, p. 32–36. (in Russian)
24. Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Litter in Forests and Grasslands. Novosibirsk, Publishing House SB RAS, 2012, 137 p. (in Russian)
25. Ufimtseva K.A. Soils of the Southern Part of the Taiga Zone of the West Siberian Plain. Moscow, Kolos, 1974, 202 p. (in Russian)
26. Chramov A.A., Valutskii V.I. Forest and Swamp Phytocenoses of the Eastern Vasyugan Land. Novosibirsk, Nauka Pbs., 1977, 222 p. (in Russian)

Received 07 November.2018

Accepted 13 December 2018

Published 26 December 2018

About the authors:

Klimova Nina V. – Junior Research, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia; klimnin@sibmail.com

Dukarev Anatolyi G. – Doctor of Geography Sciences., Head of Laboratory, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia; dag@imces.ru

The authors read and approved the final manuscript



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

**БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ОКУЛЬТУРЕННОЙ ГОРОДСКОЙ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ И БИОТЕСТИРОВАНИЯ**© 2018 Ю.М. Поляк^{1,2}, Л.Г. Бакина¹, Н.В. Маячкина¹, И.В. Дроздова³, А.В. Каплан², Д.Л. Голод⁴Адрес: ¹ФГБНУ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, 197110, Россия, Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9³ФГБНУ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2⁴Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, Россия, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2. E-mail: yuliapolyak@mail.ru

В условиях полевого опыта проведена оценка биологических последствий загрязнения тяжелыми металлами окультуренной городской почвы. Методами биоиндикации и биотестирования показано, что почвы, загрязненные кадмием и никелем, характеризуются высокой токсичностью, ухудшением биохимических свойств и медленным характером восстановления. Чувствительным индикатором загрязнения почвы металлами является дегидрогеназная активность, позволяющая выявить биологические эффекты, возникающие даже при незначительном уровне загрязнения. Данные, полученные методом биоиндикации с использованием дегидрогеназной активности почвы, согласуются с результатами биотестирования. Установлено, что загрязненные никелем и кадмием почвы оказывают острое токсическое действие на тест-объекты - дафнии *Daphnia magna* Straus и зеленые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. Токсический эффект возрастает с увеличением концентрации металлов и зависит от загрязнителя: токсичность почв, загрязненных кадмием, выше по сравнению с никелем, на протяжении всего периода исследования. В загрязненной никелем почве через два года после загрязнения наблюдается ослабление токсического эффекта, в то время как токсическое действие кадмия не снижается со временем. Несмотря на то, что ингибирующее действие никеля на дегидрогеназную активность почвы через два года после загрязнения снижается, методы биотестирования по-прежнему указывают на токсичность почвы для исследованных тест-объектов, особенно, зеленых водорослей, что свидетельствует о сохранении токсических свойств и возможных негативных последствиях для биоты.

Ключевые слова: *novic Anthrosol*; никель; кадмий; ферментативная активность; *Scenedesmus quadricauda*; *Daphnia magna*

Цитирование: Поляк Ю.М., Бакина Л.Г., Маячкина Н.В., Дроздова И.В., Каплан А.В., Голод Д.Л. Биодиагностика состояния окультуренной городской почвы, загрязненной тяжелыми металлами, методами биоиндикации и биотестирования // Почва и окружающая среда. 2018. № 1(4). С.231– 242.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных экологических проблем является загрязнение почв тяжелыми металлами, которое негативно отражается на всех компонентах биосферы. В почве тяжелые металлы включаются в природный круговорот веществ и удаляются очень медленно при выщелачивании, эрозии, дефляции, потреблении растениями и т.д. Для загрязненных территорий особое значение имеет биодиагностика состояния почв, обычно осуществляемая методами биоиндикации и биотестирования. Именно биотические показатели могут дать информацию о биологических последствиях антропогенного изменения среды, в то время как химические методы анализа позволяют охарактеризовать загрязнение количественно и лишь косвенно судят о его биологическом действии (Терехова, 2009, 2011).

Биотестирование проводится в лабораторных условиях с использованием стандартных тест-систем, что дает возможность выявить экологическую токсичность образцов почвы, испытавших воздействие антропогенных факторов в контролируемых воспроизводимых условиях (Воробейчик и др., 1994; Fernández et al. 2010). Для биотестирования природных объектов активно используются микроводоросли и ракообразные, среди которых высокой чувствительностью к загрязнению обладают одноклеточные пресноводные зеленые водоросли рода *Scenedesmus* и ветвистоусые рачки *Daphnia magna* (Поляк, Маячкина, 2015; Singh, Shrivastava, 2016; Wang et al., 2016).

При биоиндикации анализируют организмы, которые находятся в природных условиях, что позволяет охарактеризовать не только возможные биологические последствия антропогенного воздействия, но и уже проявившийся результат загрязнения. К чувствительным и информативным биоиндикаторам, позволяющим оценить уровень воздействия поллютантов на состояние почвы, относятся почвенные микроорганизмы (Gómez-Sagasti et al. 2012) и, непосредственно связанная с ними, активность почвенных ферментов (Fang et al., 2017). Этот показатель широко используется для оценки биологических последствий антропогенного воздействия (Галиулин, Галиулина, 2010; Polyak et al., 2018).

Целью настоящих исследований являлась оценка методами биотестирования и биоиндикации состояния окультуренной городской почвы, загрязненной кадмием и никелем в условиях полевого опыта. Для изучения экологического состояния почвы были использованы биотесты на гидробионтах - зеленых водорослях *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb. и ветвистоусых рачках дафниях *Daphnia magna* Straus, а также биоиндикаторы - дегидрогеназная и каталазная активность почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой опыт по изучению влияния металлов на экологическое состояние почвы был заложен на территории г. Санкт-Петербурга. Объектом исследования являлся агростратозем гумусовый (по, Классификации ..., 2004) или novic Anthrosol (по, IUSS Working Group, 2014). Выбор металлов – никеля и кадмия, определялся тем, что они входят в число приоритетных загрязнителей почв Санкт-Петербурга, но относятся к разным классам опасности (кадмий – к 1-му, никель – ко 2-му). Металлы вносили в почву в виде водных растворов легкорастворимых солей в начале вегетационного сезона. Дозы внесения кадмия и никеля рассчитывали таким образом, чтобы достичь в верхнем 10-сантиметровом слое почвы содержания металлов 30, 70 и 140 мг/кг. Площадь опытных делянок составляла 1 м². Почвенные образцы отбирали с глубины 0-10 см и 10-20 см через год и через два года после загрязнения.

Агрохимические характеристики почвы были получены с помощью общепринятых методик анализа почв (Аринушкина, 1970). Дегидрогеназную активность почвы определяли методом Ленарда, основанном на восстановлении индикатора 2,3,5-трифенилтетразолия хлорида (Хазиев, 2005). Для определения каталазной активности использовали метод Джонсона и Темпле, основанный на измерении скорости распада перекиси водорода, которую определяли перманганатометрическим титрованием (Хазиев, 2005).

Исследование токсичности водных вытяжек из почвы, загрязненной кадмием и никелем, осуществляли в острых опытах методом биотестирования с использованием в качестве тест-организмов рачков *Daphnia magna* Straus по методике ФР.1.39.2007.03222. Критерием острой токсичности считали гибель 50% и более дафний за 96 часов в тестируемых пробах по сравнению с контролем.

Биотестирование водных вытяжек из загрязненной почвы на одноклеточных водорослях *Scenedesmus quadricauda* (TURP.) BREB. проводили согласно методике ПНД Ф Т 14.1:2:4.17-2011. Критерием токсичности пробы считали снижение на 20 % и более (подавление роста) или увеличение на 30% и более (стимуляция роста) величины оптической плотности культуры водорослей, выращиваемой на тестируемой водной вытяжке из почвы в течение 45 часов по сравнению с контролем.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica (версия 10, Statsoft).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общие химические свойства почвы представлены в таблице 1. Установлено, что почва характеризуется нейтральной реакцией среды ($pH_{\text{водн.}}$ колеблется от 7,11 до 7,41, $pH_{\text{сол.}}$ от 6,74 до 6,97). Сумма обменных оснований высокая и составляет около 30 ммоль экв/100 почвы (26,5-33,0), гидролитическая кислотность низкая – около 1 ммоль экв/100 г почвы, вследствие чего почвенный поглощающий комплекс практически полностью насыщен основаниями (степень насыщенности основаниями почвы составляет 95-98%).

Таблица 1

Общие химические свойства окультуренной городской почвы

Вариант	Ме, мг/кг	Глубина, см	рН		S	Н _г	V, %	C _{орг} , %
			водн.	сол.				
контроль	-	0-10	7,14	6,74	29,0	0,9	97,0	2,16
		10-20	7,11	6,75	26,8	1,1	95,0	2,46
Ni	30	0-10	7,24	6,88	29,5	0,8	97,0	2,30
		10-20	7,30	6,88	30,0	0,9	97,1	2,38
	70	0-10	7,31	6,86	27,2	0,7	98,6	2,12
		10-20	7,31	6,85	26,5	1,0	96,4	2,45
	140	0-10	7,25	6,83	28,2	0,8	97,2	2,07
		10-20	7,30	6,85	26,5	1,0	96,4	2,26
Cd	30	0-10	7,31	6,86	30,0	0,8	97,4	2,44
		10-20	7,30	6,87	30,5	0,9	97,1	2,70
	70	0-10	7,38	6,91	33,0	0,8	97,6	2,30
		10-20	7,40	6,93	30,8	0,8	97,5	2,28
	140	0-10	7,41	6,97	29,5	0,7	97,7	2,38
		10-20	7,39	6,96	33,5	0,9	97,4	2,72

*S – сумма обменных оснований;

**Н_г – гидролитическая кислотность;

***V – степень насыщенности основаниями.

Содержание органического углерода в почвах высокое для дерново-подзолистых почв и колеблется от 2,07 до 2,46%, что в пересчете на гумус составляет 3,57-4,24%. Необходимо отметить, что практически во всех вариантах опыта выявлено несколько большее содержание C_{орг} в нижнем слое 10-20 см по сравнению с верхним слоем 0-10 см, что, по-видимому, связано с исходной неоднородностью почвы и ее насыпным характером (стратозем). По гранулометрическому составу почва относится к легкосуглинистой (содержание фракции <0,01 мм – 21,5%). Таким образом, по исходным характеристикам почвы опытного участка можно сделать предварительное заключение, что, будучи высокогумусированной и нейтральной, с высоким содержанием обменных оснований, она должна отличаться значительной буферностью и устойчивостью к нарушающим техногенным воздействиям, в том числе к загрязнению.

Судя по данным определения величины рН, загрязнение почвы металлами - никелем и особенно кадмием - приводит к небольшому подщелачиванию, вследствие чего рН_{водн.} сдвигается на 0,3 ед. По всем другим показателям влияние тяжелых металлов не прослеживается.

Биологические последствия загрязнения почвы металлами изучали методом биоиндикации с использованием показателей ферментативной активности почвы. Результаты исследования влияния металлов на активность почвенных окислительно-восстановительных ферментов – дегидрогеназы и каталазы, представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Влияние металлов на дегидрогеназную активность почвы

Ме	Концентрация, мг/кг	Активность дегидрогеназы (% к контролю)			
		1 год		2 года	
		0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
Ni	30	154±12	100±7	122±11	107±9
	70	67±8	110±10	111±7	100±7
	140	32±2	165±12	117±12	85±10
Cd	30	90±6	106±7	58±4	75±6
	70	70±7	74±8	37±5	61±5
	140	72±5	44±3	28±2	68±8

Степень ингибирования дегидрогеназной активности возрастала с увеличением концентрации, как кадмия, так и никеля (Табл. 2). Ингибирование активности дегидрогеназы через год после начала эксперимента в сравнении с контролем (незагрязненной почвой) достигало 56% в почве, загрязненной кадмием, и 68% в почве, загрязненной никелем. Через 2 года активность дегидрогеназы в загрязненной никелем почве повысилась и практически сравнялась с активностью контрольной незагрязненной почвы. В загрязненной кадмием почве дегидрогеназная активность была по-прежнему низкой, степень ингибирования активности фермента в зависимости от концентрации поллютанта составила от 25 до 72%.

Активность фермента была подавлена в каждом из исследованных слоев почвы, но в верхнем слое эффект был более выражен, чем в нижнем. В сравнении с незагрязненной почвой, дегидрогеназная активность составила 28-58% и 61-75%, соответственно.

Анализ почвенных образцов показал, что в исследованном диапазоне концентраций никель и кадмий не оказывают ингибирующего действия на каталазную активность почвы (Табл. 3). Через год после загрязнения активность каталазы оставалась на уровне незагрязненной почвы во всех вариантах эксперимента. Через два года в почве, загрязненной никелем, наблюдалось увеличение каталазной активности. Активность фермента как в верхнем, так и в нижнем слое почвы, возросла в 1,4-1,5 раза.

Таблица 3

Влияние металлов на каталазную активность почвы

Me	Концентрация, мг/кг	Активность каталазы (% к контролю)			
		1 год		2 года	
		0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
Ni	30	106±3	122±5	127±6	140±8
	70	115±9	113±4	143±11	146±9
	140	100±3	109±6	144±7	148±6
Cd	30	100±4	107±5	98±5	114±4
	70	105±6	111±3	116±9	116±5
	140	114±5	118±6	105±4	114±9

Дальнейшее изучение загрязненных почв проводили методами биотестирования с использованием в качестве тест-организмов дафний и зеленых водорослей. Результаты исследования представлены на рис. 1-4

Вытяжка из почвы, загрязненной никелем в концентрации 30 мг/кг, не оказывала токсического действия на дафнии: по показателю выживаемости рачков разница с контролем не превышала 10% (Рис. 1). При увеличении концентрации никеля до 70 мг/кг почвенная вытяжка была слабо токсична через год после загрязнения. Через два года токсический эффект уже не наблюдался. При увеличении концентрации никеля до 140 мг/кг было выявлено токсическое действие почвенной вытяжки на дафнии не только через год, но и через два года после загрязнения (достоверная разница с контролем по смертности дафний составила 30-40%). Образцы почв, отобранные с глубины 10-20 см, в целом были менее токсичны, чем верхний слой почвы.

Загрязнение почвы кадмием оказывало более сильное негативное влияние на дафнии, чем загрязнение никелем в тех же дозах. Результаты определения токсичности водных вытяжек из почв, загрязненных кадмием, свидетельствуют о том, что через год после загрязнения все исследованные варианты проявляли острую токсичность (Рис. 2). Достоверно значимый показатель выживаемости дафний составлял менее 50% от контроля. Через два года после загрязнения токсичность почвы, загрязненной кадмием в концентрации 30 и 70 мг/кг, для дафний снизилась до слабой и средней, соответственно (достоверная разница с контролем по смертности дафний не превышала 30%). В варианте с наибольшим содержанием кадмия (140 мг/кг почвы) острая токсичность для дафний сохранялась и через два года.

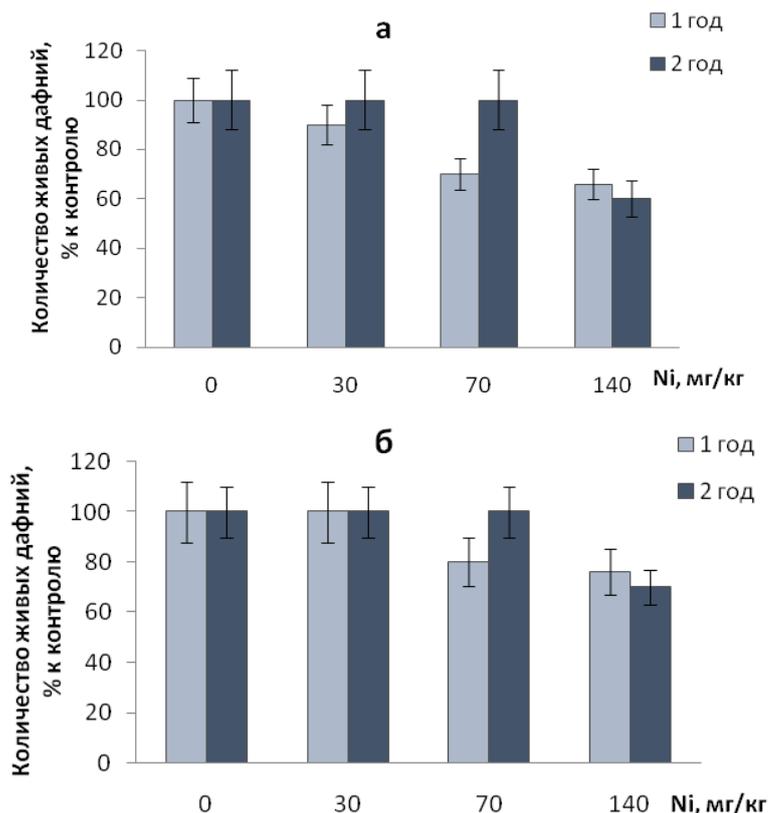


Рисунок 1. Биотестирование вытяжек из загрязненных никелем почв на дафниях *Daphnia magna*: а - глубина отбора 0-10 см, б - глубина отбора 10-20 см

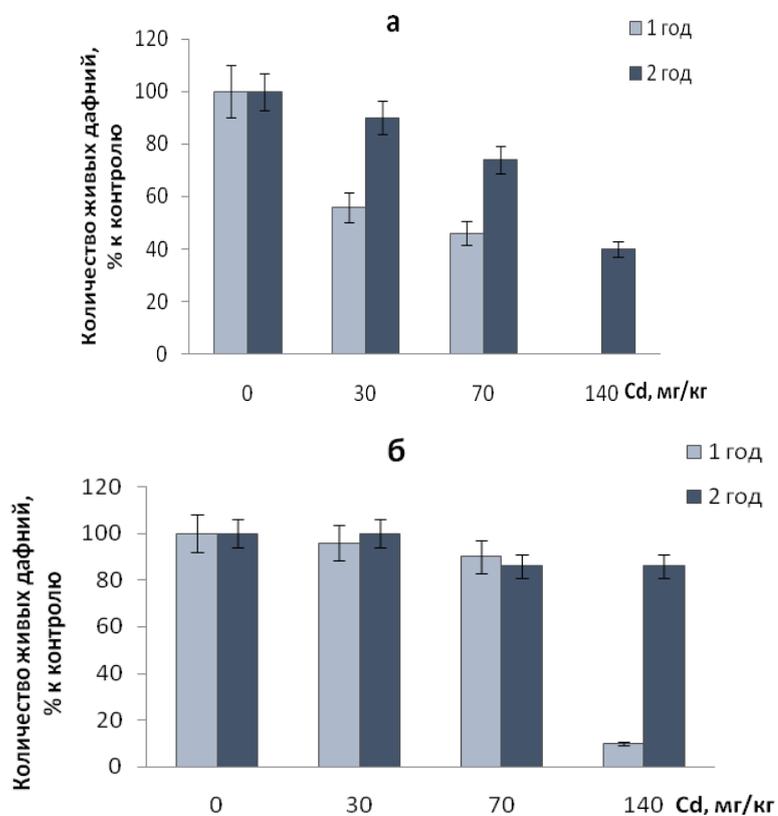


Рисунок 2. Биотестирование вытяжек из загрязненных кадмием почв на дафниях *Daphnia magna*: а - глубина отбора 0-10 см, б - глубина отбора 10-20 см.

Аналогичные результаты были получены при оценке токсичности загрязненных почв методом биотестирования с использованием зеленых водорослей *Scenedesmus quadricauda*. Проведенные биотесты показали, что почвы, загрязненные кадмием и никелем, оказывают на водоросли острое токсическое действие (Рис. 3, 4).

Все варианты верхних слоев почвы проявляли токсичность по отношению к водорослям через год после загрязнения. Токсический эффект почвы, загрязненной никелем через два года снижался, однако токсичность почвы сохранялась на протяжении не менее двух лет после загрязнения (Рис. 3). Снижение численности водорослей составляло от 30 до 45% в сравнении с контролем.

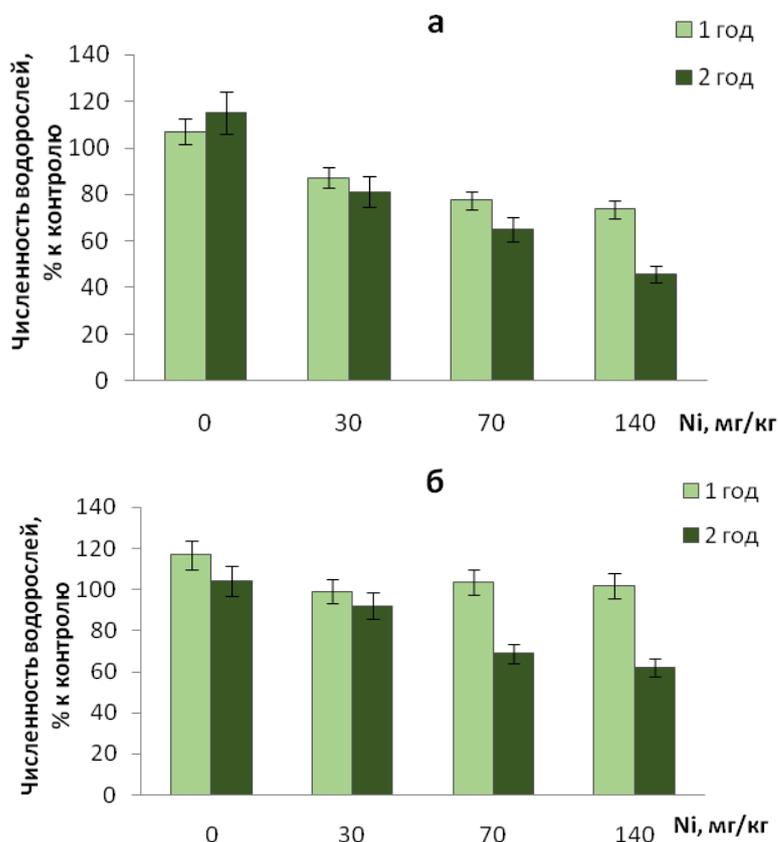


Рисунок 3. Биотестирование почвы загрязненной никелем по ингибированию роста микроводорослей *Scenedesmus quadricauda*: а - глубина отбора 0-10 см, б - глубина отбора 10-20 см

Слой почвы 10-20 см был также токсичен для водорослей: снижение их численности в сравнении с контролем составило 40-55%. Исключением являлся нижний слой почвы, загрязненный никелем в концентрации 30 мг/кг, который не оказывал токсического действия на водоросли на протяжении всего периода исследований. Токсичность нижнего слоя почвы, загрязненного никелем в концентрации 70-140 мг/кг проявилась на второй год после загрязнения.

Еще более выраженный токсический эффект наблюдался при тестировании почв, загрязненных кадмием (Рис. 4). Все концентрации кадмия оказывали острое токсическое действие на водоросли, и эффект был тем сильнее, чем выше концентрация металла в почве.

При максимальной концентрации кадмия снижение численности *S. quadricauda* через год составило 89%, а образцы почвы, отобранные через 2 года после загрязнения, ингибировали рост микроводорослей на 78%. При этом токсичность нижнего слоя почвы также была очень высокой, подавление роста водорослей при максимальной концентрации поллютанта достигало 75-80%. Токсичность проявлялась как в первый, так и во второй годы исследований, и не снижалась со временем.

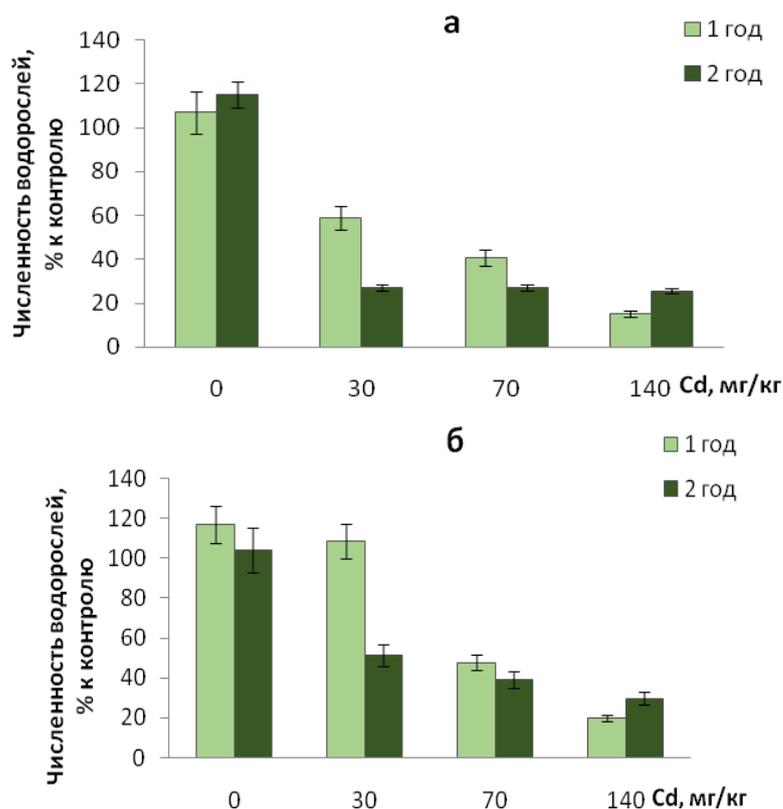


Рисунок 4. Биотестирование почвы загрязненной кадмием по ингибированию роста микроводорослей *S. quadricauda*: а - глубина отбора 0-10 см, б - глубина отбора 10-20 см

ОБСУЖДЕНИЕ

Активность почвенных ферментов является чувствительным и информативным биоиндикатором, позволяющим оценить уровень воздействия поллютантов на состояние почвы (Rao et al., 2014; Schlöter et al., 2018). Проведенные исследования показали, что для дегидрогеназ городской окультуренной почвы, загрязненной никелем и кадмием, характерна общая тенденция снижения активности под действием металлов.

Уровень ферментативной активности загрязненной почвы зависел как от внесенного металла, так и от его концентрации. Ингибирующее действие никеля проявлялось при концентрации от 70 мг/кг почвы, ингибирующее действие кадмия – при всех исследованных концентрациях. В загрязненной никелем почве через два года после загрязнения наблюдалось ослабление токсического эффекта, в то время как токсическое действие кадмия не только не снижалось, но и усиливалось со временем. Так, в почве, загрязненной кадмием в концентрации 70-140 мг/кг, дегидрогеназная активность через год составила 70% в сравнении с незагрязненной почвой, а через 2 года уменьшилась до 28-37%. Высокая чувствительность показателя дегидрогеназной активности к загрязнению почв и донных отложений отмечается многими исследователями (Wyszkowska, Wyszkowski, 2010; Thavamani et al., 2012; Поляк, Бакина 2015; Polyak et al. 2017). Многие металлы, в том числе кадмий, медь, ртуть, свинец полностью подавляют активность дегидрогеназ, однако при этом наблюдается увеличение активности ферриредуктаз (Новосёлова, Киреева, 2009).

На активность почвенных каталаз, в отличие от дегидрогеназ, металлы не оказывали ингибирующего действия. Более того, через 2 года в загрязненной никелем почве было выявлено 40-48%-е увеличение каталазной активности. Увеличение активности антиоксидантных ферментов может быть обусловлено реакцией микроорганизмов на стрессовое воздействие и нейтрализацией свободных радикалов, которые образуются под влиянием тяжелых металлов и оказывают повреждающее действие на микробные клетки (Epelde et al., 2015). Ранее Collin-Hansen и др. (2005), установили, что при повышенной концентрации металлов вблизи металлургического комбината в лесной почве возрастает активность каталазы и супероксиддисмутазы *Boletus edulis*.

В загрязненной кадмием почве активность каталазы не отличалась от контрольного варианта. Устойчивость показателя каталазной активности к загрязнению указывает на низкую степень достоверности данного биоиндикатора, в то время как дегидрогеназная активность является чувствительным индикатором загрязнения почвы металлами и позволяет выявить биологические эффекты, возникающие даже при незначительном загрязнении почвы.

Результаты биотестирования водных вытяжек из почв с использованием микроводорослей и дафний показали, что загрязненные почвы оказывают на выбранные тест-культуры негативное влияние разной степени интенсивности. Почвы, загрязненные никелем и кадмием, оказывали острое токсическое действие на дафнии и зеленые водоросли, и эффект был тем сильнее, чем выше концентрация металла в почве. При этом токсичность почв, загрязненных кадмием, была выше по сравнению с никелем на протяжении всего периода исследования. Токсический эффект наблюдался при концентрации никеля 70 мг/кг и более, кадмия - 30 мг/кг и более.

Наиболее токсичной оказалась почва с максимальной концентрацией кадмия. Более высокая, по сравнению с никелем, токсичность кадмия, очевидно, объясняется тем, что никель относится к микроэлементам (в небольших количествах он необходим живым организмам), а кадмий является абсолютным токсикантом и не нужен для процессов метаболизма живых организмов ни в каких количествах (Битюцкий, 2014).

Загрязненные кадмием почвы нижнего слоя (10-20 см) обладали меньшей токсичностью по сравнению с верхним 10-сантиметровым слоем. Аналогичный характер действия наблюдался и для никеля, что можно объяснить замедленной миграцией металлов вниз по почвенному профилю, связанной с влиянием на подвижность кадмия и никеля величины рН. Известно, что большинство тяжелых металлов обладают большей подвижностью в кислых средах и становятся малоподвижными при устранении кислотности, например, при известковании (Ложкин, Леднев, 2016). В условиях нейтральной реакции среды, которой характеризуется почва данного полевого опыта, металлы, в основном, сосредоточены в верхнем горизонте, и за два года, прошедших после загрязнения, их активной миграции в нижележащие горизонты не произошло. Полученные результаты указывают на высокую токсичность загрязненных металлами почв и сохранение токсического эффекта на протяжении длительного времени.

Данные, полученные методами биотестирования, согласуются с результатами биоиндикации с использованием чувствительного индикатора – дегидрогеназной активности почвы, на которую никель и кадмий оказывали ингибирующее действие на протяжении всего эксперимента. В почве, загрязненной никелем, дегидрогеназная активность через два года после загрязнения возросла и приблизилась к контрольному уровню, тем не менее, образцы почвы по-прежнему оказывали токсическое действие на тест-объекты – дафнии и микроводоросли, что свидетельствует о сохранении токсических свойств и указывает на возможные негативные последствия для биоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка биологических последствий загрязнения окультуренной городской почвы никелем и кадмием методами биоиндикации и биотестирования выявила изменения биохимических свойств и уровня токсичности загрязненной почвы. В условиях полевого опыта показано, что в зависимости от металла и его концентрации, негативные изменения могут сохраняться в течение длительного времени (не менее двух лет после загрязнения).

По данным биоиндикации, чувствительным индикатором загрязнения почвы металлами является дегидрогеназная активность, позволяющая выявить биологические эффекты, возникающие даже при незначительном уровне загрязнения. Результаты биотестирования показывают, что загрязненные никелем и кадмием почвы оказывают острое токсическое действие на дафнии *Daphnia magna* Straus и зеленые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb. Токсический эффект возрастает с увеличением концентрации металлов и зависит от загрязнителя: токсичность почв, загрязненных кадмием, выше по сравнению с никелем, на протяжении всего периода исследования. В загрязненной никелем почве через два года после загрязнения наблюдается ослабление токсического эффекта, в то время как токсическое действие кадмия не снижается со временем.

Использованные методы биоиндикации и биотестирования взаимно дополняют друг друга. Проведенная биодиагностика позволяет сделать вывод о токсичности загрязненной почвы, ухудшении ее биохимических свойств и медленном характере ее восстановления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому описанию почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 484 с.
2. Битюцкий Н.П. Минеральное питание растений. Изд. СПб ун-та. 2014. 540 с.
3. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
4. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Анализ активности ферментов почв и речных донных отложений как способ диагностики хронического и аварийного загрязнения экосистем тяжелыми металлами // *Агрехимия*. 2010. № 5. С.72-77.
5. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.16
6. Ложкин А.В., Леднев А.В. Последствие мелиоративных добавок на свойства почв, загрязненных кадмием, на урожайность и качество ячменя // *Пермский аграрный вестник*. 2016. № 4 (16). С. 35-41.
7. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек их почв, осадков сточных вод, отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли сценедесмус (*Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb.). ПНД Ф Т 14.1:2:4.17-2011/Т 16.1:2.3:3.18-2011. 2011.
8. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. ФР.1.39.2007.03222. М.: Акварос, 2007. 51 с.
9. Новосёлова Е.И., Куреева Н.А. Ферментативная активность почв в условиях нефтяного загрязнения и её биодиагностическое значение // *Теоретическая и прикладная экология*. 2009. №2. С. 4-12. doi: [10.25750/1995-4301-2009-2-004-012](https://doi.org/10.25750/1995-4301-2009-2-004-012)
10. Поляк Ю.М., Маячкина Н.В. Оценка качества донных отложений восточной части Финского залива методами биотестирования // *Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод*: Материалы научной конференции с международным участием. Часть 2. Ростов-на-Дону, 2015. С. 102-106.
11. Поляк Ю.М., Бакина Л.Г. Ферментативная диагностика нефтезагрязненных почв северо-западного региона РФ // *Роль почв в биосфере и жизни человека*: Материалы Международной научной конференции (Москва, 5-7 октября 2015 г.). М.: МАКС Пресс. С. 223-224.
12. Терехова В.А. Некоторые научно-организационные проблемы «Global Indicator Networks» // *Теоретическая и прикладная экология*. 2009. №3. С. 16-19. doi: [10.25750/1995-4301-2009-3-020-022](https://doi.org/10.25750/1995-4301-2009-3-020-022)
13. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // *Почвоведение*. 2011. № 2. С.190-198. doi: [10.1134/S1064229311020141](https://doi.org/10.1134/S1064229311020141)
14. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
15. Collin-Hansen C., Andersen R.A., Steinnes E. Molecular defense systems are expressed in the king bolete (*Boletus edulis*) growing near metal smelters // *Mycologia*. 2005. V. 97. Iss. 5. P. 973–983. doi: [10.1080/15572536.2006.11832747](https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832747)
16. Epelde L., Lanzen A., Blanco F., Urich T., Garbisu C. Adaptation of soil microbial community structure and function to chronic metal contamination at an abandoned Pb-Zn mine // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2015. V. 91. Iss. 1. P.1-11. doi: [10.1093/femsec/fiu007](https://doi.org/10.1093/femsec/fiu007)
17. Fang L., Liu Y., Tian H., Chen H., Wang Y., Huang M. Proper land use for heavy metal-polluted soil based on enzyme activity analysis around a Pb-Zn mine in Feng county, China // *Environ. Sci. Pollut. R.* 2017. V. 24. Iss.36. P. 28152–28164. doi: [10.1007/s11356-017-0308-4](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0308-4)
18. Fernández M.D., Babin D., Tarazona J.V. Application of bioassays for the ecotoxicity assessment of contaminated soils // *Bioremediation. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)*. 2010. V. 599. Humana Press. P.235-262. doi: [10.1007/978-1-60761-439-5_15](https://doi.org/10.1007/978-1-60761-439-5_15)
19. Gómez-Sagasti M., Alkorta I., Becerril J., Epelde L., Anza M., Garbisu C. Microbial monitoring of the recovery of soil quality during heavy metal phytoremediation // *Water, Air & Soil Pollut.* 2012. V. 223. Iss. 6. P.3249–3262. doi: [10.1007/s11270-012-1106-8](https://doi.org/10.1007/s11270-012-1106-8)
20. *IUSS Working Group. WRB, World Reference Base for Soil Resources / International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Rome: FAO, 2014.
21. Polyak Y., Shigaeva T., Gubelit Y., Bakina L., Kudryavtseva V., Polyak M. Sediment microbial activity and its relation to environmental variables along the eastern Gulf of Finland coastline // *J. Mar. Sys.* 2017. V. 171. P. 101-110. doi: [10.1016/j.jmarsys.2016.11.017](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.11.017)
22. Polyak Y.M., Bakina L.G., Chugunova M. V., Mayachkina N.V., Gerasimov A.O., Bure V.M. Effect of remediation strategies on biological activity of oil-contaminated soil - A field study // *Int.Biodeterioration & Biodegradation*. 2018. V. 126. P. 57-68. doi: [10.1016/j.ibiod.2017.10.004](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.10.004)
23. Rao M.A., Scelza R., Acevedo F., Diez M.C., Gianfreda L. Enzymes as useful tools for environmental purposes // *Chemosphere*. 2014. V. 107. P. 145–162. doi: [10.1016/j.chemosphere.2013.12.059](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.059)
24. Schloter M., Nannipieri P., Sørensen S.J., van Elsas J.D. Microbial indicators for soil quality // *Biology and Fertility of Soils*. 2018. V. 54. Iss.1. P. 1-10. doi: [10.1007/s00374-017-1248-3](https://doi.org/10.1007/s00374-017-1248-3)
25. Singh P.K., Shrivastava A.K. Role of initial cell density of algal bioassay of toxic chemicals // *J. Basic Microbiol.* 2016. V. 56. Iss. 7. P. 812–829. doi: [10.1002/jobm.201500597](https://doi.org/10.1002/jobm.201500597)

26. Thavamani P., Malik S., Beer M., Megharaj M., Naidu R. Microbial activity and diversity in long-term mixed contaminated soils with respect to polyaromatic hydrocarbons and heavy metals // *J. Environ. Management*. 2012. V. 99. P. 10-17. doi: [10.1016/j.jenvman.2011.12.030](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.030)
27. Wang, C.-W.; Liang, C.; Yeh, H.-J. Aquatic acute toxicity assessments of molybdenum (+VI) to *Daphnia magna* // *Chemosphere*. 2016. V. 147. P. 82–87. doi: [10.1016/j.chemosphere.2015.12.052](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.052)
28. Wyszowska J., Wyszowski M. Activity of soil dehydrogenases, urease, and acid and alkaline phosphatases in soil polluted with petroleum // *J. Toxicol. Environ. Health. A*. 2010. V. 73. Iss. 17-18. P. 1202–1210. doi: [10.1080/15287394.2010.492004](https://doi.org/10.1080/15287394.2010.492004)

Поступила в редакцию 22.10.2018

Принята 12.12.2018

Опубликована 26.12.2018

Сведения об авторах:

Поляк Юлия Марковна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет; yuliapolyak@mail.ru

Бакина Людмила Георгиевна – доктор биологических наук, заведующая лабораторией, ФГБНУ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН; bakinalg@mail.ru

Маячкина Наталья Викторовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН; korshun25@mail.ru

Дроздова Ирина Валерьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН; idrozdova@binran.ru

Каплан Анна Викторовна – студентка, Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле; salutez@mail.ru

Голод Денис Львович – студент, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет; den17112000@gmail.com

BIODIAGNOSTICS OF THE CULTIVATED URBAN SOIL POLLUTED BY METALS: BIOINDICATION AND BIOASSAY

© 2018 Y.M. Polyak^{1,2}, L.G. Bakina¹, N.V. Mayachkina¹, I.V. Drozdova³, A.V. Kaplan², D.L. Golod⁴

Address: ¹Scientific Research Center for Ecological Safety of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia.

²Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

³Komarov Botanical Institute of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia.

⁴Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia. E-mail: yuliapolyak@mail.ru

*The biological effects of contamination with nickel and cadmium were evaluated in cultivated urban soil under field conditions. The methods of bioindication and bioassay indicated high toxicity, deterioration in biochemical properties and slow recovery of contaminated soil. Soil dehydrogenase is a sensitive indicator of metal contaminations, which allows identifying the biological effects that occur even in slightly polluted soils. The data obtained by bioindication using soil dehydrogenase activity were consistent with bioassay results. Bioassays revealed acute toxicity of contaminated soil to daphnia *Daphnia magna* Straus and green algae *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. The toxic effect increased with an increase in the metal concentration and depended on the added metal. The toxicity of soils contaminated with cadmium was higher compared to nickel throughout the entire study period. Two years after pollution, a decrease of the toxic effect was observed in soil contaminated with nickel, while the toxic effect of cadmium did not decrease with time. Even after an increase of dehydrogenase activity in nickel-contaminated soil, bioassays still indicated its toxicity for the test objects, particularly as regards green algae. The results indicate the preservation of toxic properties and possible negative effects to biota.*

Kew words: *novic Anthrosol; nickel; cadmium; enzymatic activity; Scenedesmus quadricauda; Daphnia magna*

How to cite: Polyak Y.M., Bakina L.G., Mayachkina N.V., Drozdova I.V., Kaplan A.V., Golod D.L. Biodiagnostics of the cultivated urban soil polluted by metals: bioindication and bioassay // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(4): 231–242. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Arinushkina E.V. Guidelines for the chemical description of soils. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1970. 484 p. (in Russian)
2. Bityuckii N.P. Mineral plant nutrition. Saint-Petersburg University, 2014. 540 p. (in Russian)
3. Vorobeichik E.L., Sadikov O.F., Farafontov M.G. Ecological rationing of anthropogenic pollution of terrestrial ecosystems, local level. Ekaterinburg, Nauka Pbs., 1994. 280 p. (in Russian)
4. Galiulin R.V., Galiulina R.A. Analysis of enzymatic activity of soils and river bottom sediments as diagnostics method of the chronic and emergency contamination of ecosystems with heavy metals, *Agricultural Chemistry*. 2010, No 5, p.72-77. (in Russian) \
5. *Soil classification of Russia* / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Pbs., 2004. 342 p. (in Russian)
6. [Lozhkin A.V., Lednev A.V. Aftereffect of ameliorative additives on contaminated with cadmium soils properties, barley yield and grain quality, *Perm Agrarian Journal*, 2016, No 4, V. 16, p. 35-41.](#) (in Russian)
7. Methods for determining the acute toxicity of drinking, fresh natural and wastewater, water extracts of their soil, sewage sludge, waste by changing the optical density of the algae culture of *Scenedesmus quadricauda* (Turp.), Breb). PND F T 14.1 2 4.17 2011/T 16.1 2.3 3.18 2011. 2011. (in Russian)
8. Methods of determining the toxicity of water and water extracts from the soil, sewage sludge, waste from mortality and changes in the fertility of daphnia. FR.1.39.2007.03222. Moscow, Akvaros, 2007. 51 p. (in Russian)
9. Novosyolova E.I., Kireyeva N.A. Soil enzymatic activity in conditions of oil contamination and its biodiagnostic importance, *Theoretical and Applied Ecology*, 2009, No2, p. 4-12. (in Russian) doi: [10.25750/1995-4301-2009-2-004-012](#)
10. Polyak Yu.M., Mayachkina N.V. The use of bioassay techniques for assessment of the Eastern Gulf of Finland sediment quality. In book: *Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality*: Proc. of Sci. Conf. with In. participation. Part 2. Rostov-na-Donu, 2015. p. 102-106. (in Russian)
11. Polyak Y.M., Bakina L.G. Enzymatic diagnosis of oil-contaminated soils of the north-western region of the Russian Federation. In book: *The role of soil in the biosphere and human life*: Proc. of the In. Sci. Conf. (Moscow, 5-7 October 2015). Moscow: MAK S Press, p. 223-224. (in Russian)
12. Terekhova V.A. Some «Local» Organizational Problems of «Global Indicator Networks», *Theoretical and Applied Ecology*, 2009, No3, p. 16-19. doi: [10.25750/1995-4301-2009-3-020-022](#) (in Russian)
13. Terekhova V.A. Soil bioassay: Problems and approaches, *Eurasian Soil Science*, 2011, V. 44(2), p. 173–179. doi: [10.1134/S1064229311020141](#)
14. Haziiev F.H. Methods of soil enzymology. Moscow: Nauka Pbs., 2005, 252 p. (in Russian)
15. Collin-Hansen C., Andersen R.A., Steinnes E. Molecular defense systems are expressed in the king bolete (*Boletus edulis*) growing near metal smelters, *Mycologia*, 2005, V. 97, Iss. 5, p. 973–983. doi: [10.1080/15572536.2006.11832747](#)
16. Epelde L., Lanzen A., Blanco F., Urich T., Garbisu C. Adaptation of soil microbial community structure and function to chronic metal contamination at an abandoned Pb-Zn mine, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 2015, V. 91, Iss. 1, p. 1-11. doi: [10.1093/femsec/fiu007](#)
17. Fang L., Liu Y., Tian H., Chen H., Wang Y., Huang M. Proper land use for heavy metal-polluted soil based on enzyme activity analysis around a Pb-Zn mine in Feng county, China, *Environ. Sci. Pollut. R.*, 2017, V. 24, Iss.36, p. 28152–28164. doi: [10.1007/s11356-017-0308-4](#)
18. Fernández M.D., Babin D., Tarazona J.V. Application of bioassays for the ecotoxicity assessment of contaminated soils. In book: *Cummings S. (eds.) Bioremediation. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)*, V. 599. Humana Press, p.235-262. doi: [10.1007/978-1-60761-439-5_15](#)
19. Gómez-Sagasti M., Alkorta I., Becerril J., Epelde L., Anza M., Garbisu C. Microbial monitoring of the recovery of soil quality during heavy metal phytoremediation, *Water, Air & Soil Pollut.*, 2012, V. 223, Iss. 6, p.3249–3262. doi: [10.1007/s11270-012-1106-8](#)
20. [IUSS Working Group. WRB, World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2014.](#)
21. Polyak Y., Shigaeva T., Gubelit Y., Bakina L., Kudryavtseva V., Polyak M. Sediment microbial activity and its relation to environmental variables along the eastern Gulf of Finland coastline, *J. Mar. Sys.*, 2017, V. 171, P. 101-110. doi: [10.1016/j.jmarsys.2016.11.017](#)
22. Polyak Y.M., Bakina L.G., Chugunova M. V., Mayachkina N.V., Gerasimov A.O., Bure V.M. Effect of remediation strategies on biological activity of oil-contaminated soil - A field study, *Int. Biodeterioration & Biodegradation*. 2018, V. 126, p. 57-68. doi: [10.1016/j.ibiod.2017.10.004](#)
23. Rao M.A., Scelza R., Acevedo F., Diez M.C., Gianfreda L. Enzymes as useful tools for environmental purposes, *Chemosphere*, 2014, V. 107, p. 145–162. doi: [10.1016/j.chemosphere.2013.12.059](#)
24. Schloter M., Nannipieri P., Sørensen S.J., van Elsas J.D. Microbial indicators for soil quality, *Biology and Fertility of Soils*, 2018, V. 54, Iss. 1, p. 1-10. doi: [10.1007/s00374-017-1248-3](#)
25. Singh P.K., Shrivastava A.K. Role of initial cell density of algal bioassay of toxic chemicals, *J. Basic Microbiol.*, 2016, V. 56, Iss.7, p. 812–829. doi: [10.1002/jobm.201500597](#)

26. *Thavamani P., Malik S., Beer M., Megharaj M., Naidu R.* Microbial activity and diversity in long-term mixed contaminated soils with respect to polyaromatic hydrocarbons and heavy metals, *J. Environ. Management.*, 2012, V. 99, p. 10-17. doi: [10.1016/j.jenvman.2011.12.030](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.030)
27. *Wang, C.-W.; Liang, C.; Yeh, H.-J.* Aquatic acute toxicity assessments of molybdenum (+VI) to *Daphnia magna*, *Chemosphere*. 2016, V. 147, p. 82–87. doi: [10.1016/j.chemosphere.2015.12.052](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.052)
28. *Wyszkowska J., Wyszkowski M.* Activity of soil dehydrogenases, urease, and acid and alkaline phosphatases in soil polluted with petroleum, *J. Toxicol. Environ. Health*. 2010, V. 73, Iss. 17-18, p. 1202–1210. doi: [10.1080/15287394.2010.492004](https://doi.org/10.1080/15287394.2010.492004)

Received 22 October 2018
Accepted 12 December 2018
Published 26 December 2018

About the authors:

Polyak Yulia M. – PhD, Senior Researcher, Institution of Russian Academy of Sciences Saint-Petersburg Scientific Research Centre for Ecological Safety RAS; assistant professor, Saint-Petersburg State University (Saint-Petersburg, Russia); yuliapolyak@mail.ru

Bakina Ludmila G. – Doctor of Biological Sciences, Head of Laboratory, Institution of Russian Academy of Sciences Saint-Petersburg Scientific Research Centre for Ecological Safety RAS (Saint-Petersburg, Russia); bakinalg@mail.ru

Mayachkina Natalia V. – PhD (Biol.), Senior Researcher, Institution of Russian Academy of Sciences Saint-Petersburg Scientific Research Centre for Ecological Safety RAS (Saint-Petersburg, Russia); korshun25@mail.ru

Drozdova Irina V. – PhD, Senior Researcher, Botanical Institute of V.L. Komarov RAS (Saint-Petersburg, Russia); idrozdova@binran.ru

Kaplan Anna V. – Student, Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences (Saint-Petersburg, Russia); salutez@mail.ru

Golod Denis L. – Student, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University (Saint-Petersburg, Russia); den17112000@gmail.com

The authors read and approved the final manuscript



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



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРАИННЫХ ЧАСТЕЙ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА (НА ПРИМЕРЕ БАКЧАРСКОГО БОЛОТНОГО МАССИВА)

© 2018 А.А. Синюткина, Л.П. Гашкова

Адрес: Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа, филиал СФНЦА, 634050, г. Томск, ул. Гагарина 3, Россия. E-mail: ankalaeva@yandex.ru

Цель исследования. Проведение комплексной оценки состояния лесоболотного экотона Бакчарского болотного массива (подзона южной тайги, Западная Сибирь).

Место и время проведения. Ключевой участок в бассейне р. Ключ (56°58' с.ш.; 82°36' в.д.) в пределах Бакчарского болотного массива в период 2017-2018 гг.

Методология. Использованы методы георадиолокации, полевых ландшафтных исследований, геоинформационного моделирования.

Основные результаты. В пределах ключевого участка преобладают заболоченные смешанные леса с доминированием березы на торфяных маломощных почвах. Микрорельеф поверхности сильно расчлененный, среднее значение среднеквадратического отклонения высот составляет 14, при средней амплитуде колебаний высот 58,4 см. Увлажнение местообитания находится в прямой зависимости от амплитуды колебаний высот, что делает целесообразным использование количественных показателей микрорельефа при оценке гидроморфной трансформации лесоболотных экотонов. Основная часть территории относится к сыро-лесолуговой ступени увлажнения местообитаний; баллы увлажнения участков в соответствии с экологической шкалой Д.Н. Цыганова изменяются в пределах 14,2-15,7. Статистический анализ показал, что увлажнение местообитаний определяется главным образом углами наклона минерального дна, а мощность торфяной залежи находится в прямой зависимости с углом наклона современной поверхности. В результате торфонакопления произошло выравнивание поверхности и уменьшение средних углов наклона с 0,23° до 0,15°, что будет способствовать дальнейшей гидроморфной трансформации участка.

Заключение. В результате комплексной оценки состояния лесоболотного экотона Бакчарского болотного массива получены новые данные о трансформации поверхности в результате торфонакопления, проведена количественная оценка вклада рельефа, как основного фактора заболачивания территории. Полученные данные могут быть использованы как основа для разработки прогнозных моделей процессов заболачивания прилегающих к болотам территорий и оценки роли расширения площадей болот в динамике глобального цикла углерода.

Ключевые слова: геоинформационное моделирование; георадиолокация; заболоченный лес; микрорельеф поверхности; торфяная залежь; заболачивание

Цитирование: Синюткина А.А., Гашкова Л.П. Оценка состояния окраинных частей Большого Васюганского болота (на примере Бакчарского болотного массива) // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(4). С. 243 – 255.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в мире заболачивается около 66 тыс. га земли (Бабилов, Кобак, 2016). Проблема гидроморфной трансформации особенно актуальна для территории Западной Сибири, заболоченность которой в среднем составляет 30%, а на территории таежной зоны достигает 50% (Лисс и др., 2001, Евсеева и др., 2012). Переход болот на данной территории в олиготрофную фазу развития и приобретение их поверхностью выпуклой формы определяет их активное воздействие на прилегающие растительные группировки. По данным Б.В. Бабилова и К.И. Кобак (2016), в настоящее время процессы заболачивания активизируются вследствие глобального изменения климата и, прежде всего, за счет увеличения количества осадков. Наряду с глобальными и региональными климатическими условиями на развитие процесса заболачивания существенное влияние оказывают локальные факторы болотообразования, к которым относятся морфометрические характеристики поверхности, остающиеся в настоящее время наименее изученными (Graniero, Price, 1999; Laamrani et al., 2014). В зависимости от геоморфологических условий возможно как интенсивное заболачивание, так и сокращение площадей болот (Инишева, Березина, 2013).

Существующая в настоящее время проблема неоднозначности оценок тренда заболачивания и интенсивности аккумуляции торфа в условиях изменяющегося климата определяет необходимость

пространственных структур ландшафтного покрова болот и лесоболотных экотонов с использованием современных методов сбора и обработки материалов полевых исследований, в том числе с применением метода георадиолокации. Ряд авторов подчеркивают преимущества использования георадиолокации в сравнении с контактными измерениями на точках за счет их большей детальности и высокого пространственного разрешения (до нескольких см вдоль линии профиля), чего невозможно достичь с использованием традиционных методов (Ulriksen, 1980; Sass et al., 2010; Walter et al., 2016).

Цель исследования заключалась в проведении комплексной оценки состояния лесоболотного экотона Бакчарского болотного массива с учетом влияния геоморфологических факторов на развитие процесса заболачивания. Основными источниками информации являются данные георадиолокационной съемки торфяной залежи и минерального дна болота/заболоченного леса, тахеометрической и нивелирной съемки геоморфологических профилей и микрорельефа поверхности заболоченного леса, полевых ландшафтных описаний на точках.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является ключевой участок площадью 0,24 км² в бассейне р. Ключ (правый приток р. Бакчар, бассейн р. Чая, подзона южной тайги Западной Сибири), включающий окраинную часть Бакчарского болота, прилегающие к нему заболоченные и суходольные леса (рис.1). Четвертичные отложения представлены озерно-аллювиальными глинами и суглинками, мощность которых достигает 40-60 м (Западная Сибирь, 1963). Территория характеризуется практически плоским рельефом; значения вертикального расчленения не превышают 10 м, и горизонтальное расчленение рельефа изменяется в пределах 0,6-1,25 км/км². Климат континентальный с длинной холодной зимой и коротким теплым летом. Средняя годовая температура составляет 0,23°C, среднегодовое количество осадков 473 мм, суммарное годовое испарение достигает 332 мм. Отмечены тенденции к увеличению сумм атмосферных осадков, что приводит к росту избытка увлажнения и способствует усилению болотообразовательного процесса, в особенности в условиях плоского рельефа и слабой водопроницаемости грунтов (Евсеева и др., 2012). Для растительного покрова территории исследования характерна смена растительных сообществ от кедрово-соснового и березово-соснового травяно-сфагнового верхового болота, протягивающегося узкой полосой вдоль границы Бакчарского болотного массива, на сосново-кустарничково-сфагновое болото, занимающее значительные площади на склоне болотного массива. В центральной части болотного массива широкое распространение получили грядово-мочажинные и грядово-озерковые комплексные сосново-кустарничково-травяно-сфагновые болота. Вдоль границы болотного массива протягивается полоса заболоченного, протяженностью 1,5-4 км, соответствующая склону водораздельной равнины (Чудиновская, Синюткина, 2018).

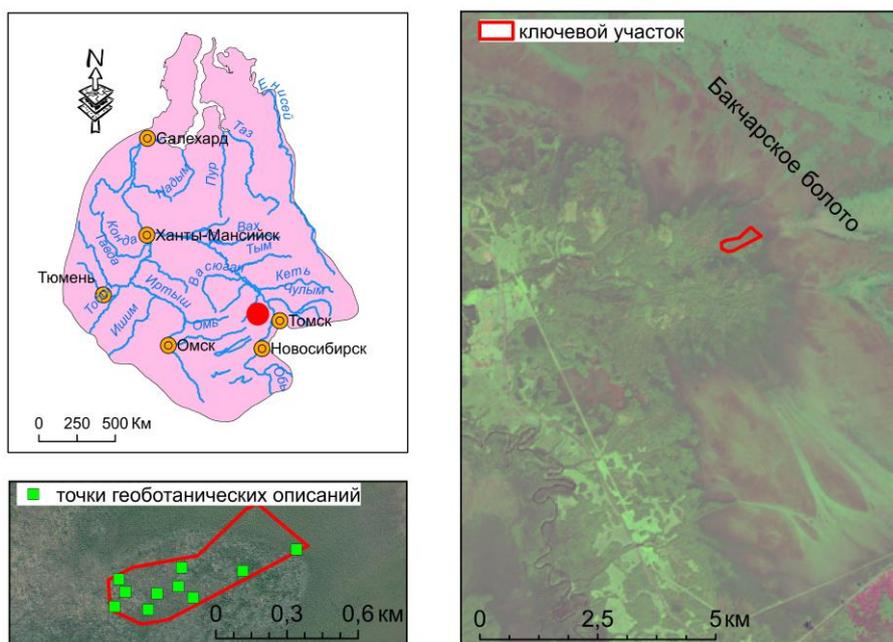


Рисунок 1. Схема расположения объекта исследования

На современном этапе развития болота являются мощным фактором почвообразования, что определяется постоянным гравитационным стоком влаги с выпуклых болотных массивов и крайне низкими значениями водопроницаемости почвообразующих пород. Гидроморфная трансформация почв наиболее активно протекает на территориях, прилегающих к болотным массивам, и проявляется в накоплении на поверхности органогенных горизонтов в условиях постоянного переувлажнения или формировании элювиального горизонта в условиях переменного увлажнения (Никифоров, Дюкарев, 2015).

Методика проведения полевых исследований включала ряд этапов:

1. Проведение георадарной съемки с использованием георадара ОКО-2 в комплекте с экранированным антенным блоком (частота зондирования 250 МГц, развертка по глубине 200 нс, шаг зондирования 5 см). Съемка выполнена в марте 2018 года, общая протяженность георадарных профилей составила 2,3 км. Пространственная привязка профилей проведена с использованием датчика перемещения и GPS навигатора. В процессе съемки устанавливались метки на радарограмме, соответствующие точкам контактных измерений.

2. Контактные исследования на опорных точках. В соответствии с установленными метками на радарограмме в летний период 2018 года выполнено контактное зондирование торфяной залежи на 33 точках, включающие определение мощности торфяной залежи, выделение стратиграфических горизонтов по видам и степени разложения торфа визуальным методом (Тюремнов, 1976). Проведен отбор образцов торфа на 4 точках для определения ботанического состава и степени разложения под микроскопом. Выполнены геоботанические описания и описания микрорельефа поверхности, проведено определение уровня болотных вод от средней поверхности болота на 12 площадках. Определение высоты деревьев проведено с использованием лазерного дальномера Nikon Forestry Pro (Nikon Vision Co., Japan). Проведена съемка профиля вертикального сечения горизонта формирования микрорельефа с использованием тахеометра на 10 площадках (300 измерений). Для построения цифровых моделей рельефа проведена нивелирная съемка поверхности ключевого участка.

3. Обработка и интерпретация данных георадиолокации проведена с использованием программы GeoScan32 (ООО «Логические системы», Россия). Подготовка данных к интерпретации заключалась в удалении постоянной составляющей сигнала (инструмент «удаление среднего»), усиление сигнала в нижней части профиля, определении нуля шкалы глубин. Выделение основных элементов георадарного профиля (георадарных комплексов) выполнено по конфигурации, интенсивности и протяженности осей синфазности, частотного состава записи, скорости распространения волны. Определение диэлектрической проницаемости и расчет глубин залегания горизонтов торфа проведено путем сопоставления глубин расположения границ между выделенными георадарными комплексами во временной шкале с данными контактных измерений на опорных точках (Каширо и др., 2018). Статистический анализ данных измерений микрорельефа модельных участков включал определение показателей, характеризующих расчлененность микрорельефа (амплитуда колебаний высот, амплитуда колебаний высот при уровне значимости $P=0,05$, среднее квадратическое отклонение) и распределение высот относительно средней поверхности болота (доля высот в интервале от -5 до 5 см, доля высот выше средней поверхности). Выявление зависимостей показателей микрорельефа от характеристик древесного яруса и увлажнения местообитаний проведено с использованием факторного анализа (Синюткина и др., 2018). Определение ступеней экологической шкалы увлажнения почв для местообитаний вдоль линии профиля проведено в соответствии с (Цыганов, 1983, Прокопьев, 2001) (табл.1) с учетом удельного веса проективного покрытия видов. Расстояние от границы болотного массива рассчитано с использованием методов геоинформационного картографирования. Граница болотного массива на данном участке соответствует смене фитоценозов заболоченного леса на болотный березово-сосново-кустарничково-травяно-сфагновый.

Статистическая обработка данных проведена с использованием метода главных компонент для выявления ведущих геоморфологических факторов, определяющих формирование видовой структуры растительного покрова в соответствии с экологической шкалой увлажнения местообитаний. Статистическая обработка данных проведена с использованием R пакета (www.r-project.org).

Шкала увлажнения местообитаний (Цыганов, 1983)

Балл	Экологическая группа
12	свеже-лесолуговая
13	влажно-лесолуговая
14	сыровато-лесолуговая
15	сыро-лесолуговая
16	мокро-лесолуговая
17	болотно-лесолуговая
18	субболотная
19	болотная

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Растительность. В пределах ключевого участка широкое распространение получили заболоченные смешанные леса с преобладанием березы (*Betula pubescens* Ehrh.) (табл.2). Субдоминантами древесного яруса являются кедр (*Pinus sibirica* Du Tour), сосна (*Pinus sylvestris* L.), ель (*Picea obovata* Ledeb), осина (*Populus tremula* L.). Высота древесного яруса изменяется в пределах 15-22 м, сомкнутость крон 20-60%. Типичными представителями кустарникового яруса являются смородина (*Ribes nigrum* L.), шиповник (*Rosa acicularis* Lindley), рябина (*Sorbus sibirica* Hedl.), малина (*Rubus idaeus* L.). Проективное покрытие яруса обычно не превышает 5-10%. Среди кустарничков выделяется брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) с проективным покрытием около 5%, занимающая повышения микрорельефа. В травяном ярусе широко распространены различные виды осок (*Carex acuta* L., *C. elongata* L. и др.), хвощей (*Equisetum palustre* L., *E. sylvaticum* L. и др.), вейников (*Calamagrostis canescens* (Web.) Roth, *C. neglecta* (Ehrh.) Gaertn., Mey. et Scherb. др.), папоротников (*Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth и др.). В моховом ярусе преобладают зеленые мхи, часто занимающие поваленные гнилые стволы и приствольные повышения. Для березово-сосново-кустарничково-осоково-сфагнового болота характерны сосна (*P. sylvestris*), береза (*B. pubescens*), кедр (*P. sibirica*) с общей сомкнутостью крон 25 %. Высота деревьев изменяется в пределах 8-16 м при средней высоте яруса 9,5 м. Кустарнички с проективным покрытием 30 % распространены преимущественно на повышениях. Ярус образуют багульник (*Ledum palustre* L.), хамедафна (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), клюква (*Oxycoccus palustris* Pers.). Травяной ярус образован пушицей (*Eriophorum vaginatum* L.) с проективным покрытием 40 %. Проективное покрытие мхами составляет 50 %, широко распространены *Sphagnum angustifolium* (Russ.ex Russ.) C.Jens., *S. balticum* (Russ.) Russ.ex C.Jens., встречаются *S. magellanicum* Brid., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.

Таблица 2

Характеристика участков контактных исследований

№	Фитоценоз	Мощность торфа, м	УБВ*/УГВ**, см от средней поверхности	Балл увлажнения	Расстояние от Бакчарского болота, м
1	2	3	4	5	6
1	Березово-сосново-кустарничково-пушицево-сфагновое верховое болото	1,4	-10	15,2	-
2	Кедрово-елово-березовый разнотравно-злаковый заболоченный лес	1,1	-5	14,5	463
3	Кедрово-сосново-березовый разнотравный заболоченный лес	1,0	-10	14,7	655
4	Кедрово-березовый разнотравно-злаковый заболоченный лес	1,0	-10	15,1	500
5	Кедрово-березовый разнотравно-злаковый заболоченный лес	1,0	-15	15,3	308

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
6	Сосново-осиново-березовый разнотравный зеленомошный заболоченный лес	0,75	-15	14,5	220
7	Кедрово-березовый разнотравно-злаковый заболоченный лес	0,7	0	15,0	390
8	Елово-сосново-березовый хвощевый заболоченный лес	0,7	-30	14,2	148
9	Елово-кедрово-березовый разнотравный заболоченный лес	0,5	-10	14,9	722
10	Кедрово-сосново-березовый болотнотравный заболоченный лес	0,3	-10	15,7	47
11	Елово-кедрово-березовый разнотравно-злаковый заболоченный лес	0,25	-15	14,7	656
12	Осиново-березово-кедровый разнотравный лес	0	-30	14,8	526

*УБВ – уровень болотных вод;

**УГВ – уровень грунтовых вод

В соответствии с оценкой по шкале увлажнения (Цыганов, 1983), в пределах площадок геоботанических описаний виды относятся к 8 ступеням увлажнения от 12 до 19. Основная часть удельного веса проективного покрытия видов (83%) относится к 14-16 ступеням увлажнения. Согласно оценке условий местообитаний методом стандартных экологических шкал, увлажнение объектов исследования изменяется в пределах 14,2-15,7 баллов и характеризуется как сыровато-лесолуговое, сыро-лесолуговое и мокро-лесолуговое. Максимальное значение отмечено на расстоянии 50 м от границы Бакчарского болотного массива в пределах кедрово-сосново-березового болотнотравного заболоченного леса. Следует отметить, что балл увлажнения данного участка превышает балл, полученный для окраинной части болотного массива, занятой березово-сосново-кустарничково-пушицево-сфагновым верховым болотом.

Микрорельеф поверхности. Микрорельеф заболоченного леса сильно расчлененный, с понижениями глубиной до 50 см, средние размеры которых в плане составляют 3-5 м. Положительные формы, образованные приствольными повышениями, старыми упавшими стволами и выворотнями корней, занимают 30-40% поверхности заболоченного леса. Поверхность заболоченных лесов характеризуется большими значениями показателей расчлененности рельефа в сравнении с болотами (Синюткина и др., 2017). Высокие значения среднеквадратического отклонения и амплитуды колебаний высот поверхности обусловлены наличием выворотов деревьев, определяющие образование глубоких понижений под корнями деревьев и появление положительных форм, образованных непосредственно корнями и приствольными повышениями (табл.3). Отличительной особенностью поверхности заболоченных лесов является практически полное отсутствие аккумулятивных форм микрорельефа в виде моховых подушек, что определяет превышение доли занятых отрицательными формами микрорельефа над положительными.

Таблица 3

Средние значения показателей микрорельефа заболоченных лесов

Показатель	Среднее значение	Интервал
Амплитуда, см	58,4	43,2-68,7
Квартильный размах, см	17,6	14,9-22,0
Среднеквадратическое отклонение	14	10,2-19,1
Доля высот у средней поверхности (-5-5 см), %	27	22,0-31,0
Доля высот выше средней поверхности, %	44,4	38,0-51,6

Почвенный покров. Согласно классификации гидроморфных почв (Почвоведение, 1988), в пределах ключевого участка преобладают торфяные маломощные почвы с мощностью торфяного горизонта 0,7–1,0 м. Встречаются торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые, а также торфяные среднеспособные почвы в окраинной части болотного массива. Мощность торфяной залежи в пределах ключевого участка достигает 1,75 м, среднее значение 0,4 м. В стратиграфии торфяной залежи заболоченных лесов преобладают низинные древесные и древесно-травяные торфа с

высокой степенью разложения в пределах 35-50% (рис.2). Торфяная залежь окраинной части Бакчарского болотного массива относится к смешанному типу. Верхний горизонт до глубины 50 см сложен верховым древесно-сфагновым торфом. Далее на глубине 50-100 см залегает слой древесно-осокового низинного торфа со степенью разложения 30%. Нижние слои сложены низинным осоково-гипновым торфом. Степень разложения торфа изменяется в пределах 20-35%.

Использование данных георадарной съемки позволило оценить пространственную дифференциацию мощности торфяной залежи вдоль линии профиля и выявить участки с резкими перепадами глубин минерального дна за счет высокого пространственного разрешения съемки. В качестве примера на рисунке 3 показан георадарный профиль, полученный в окраинной части Бакчарского болотного массива. Начало профиля соответствует точке 1 контактных исследований (табл.2). В первой части профиля отмечено резкое увеличение мощности торфяного горизонта с 1 м до 1,70 на протяжении 20 м вдоль линии профиля, что соответствует уклону поверхности минерального дна 2°. Далее поверхность минерального дна практически плоская с перепадами высот в пределах 20-30 см.

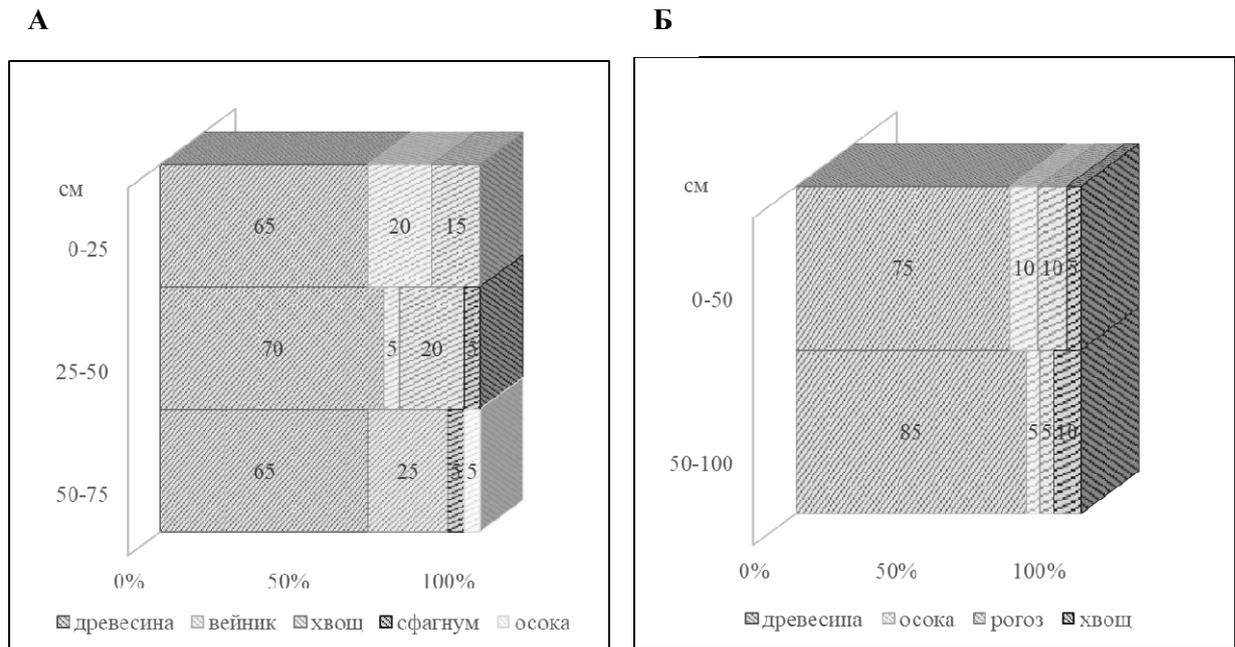


Рисунок 2. Стратиграфия торфяной залежи сосново-осиново-березового разнотравного зеленомошного заболоченного леса (А) и кедрово-сосново-березового разнотравного заболоченного леса (Б)

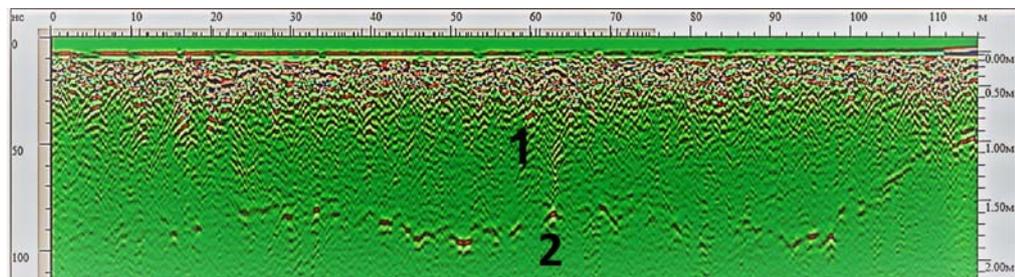


Рисунок 3. Георадарный профиль в пределах окраинной части Бакчарского болота (дата съемки 20.03.2018): 1 – торфяная залежь, 2 – отложения минерального дна

Анализ всего массива данных, полученных с использованием метода георадиолокации, в пределах ключевого участка показал отсутствие закономерностей в изменении мощности торфяного горизонта при удалении от границы болотного массива. Мощность торфяной залежи неоднородна, стандартное отклонение по данным 70 контактных и георадарных измерений составляет 0,4. Выделяется два изолированных контура с мощностью торфяной залежи более 1 м (рис.4). Первый контур соответствует окраинной части Бакчарского болотного массива. В

непосредственной близости с границей происходит быстрое уменьшение мощности торфяного горизонта от 1,7 в пределах березово-сосново-кустарничково-пушицево-сфагнового верхового болота до 0,3 м на расстоянии 50 м от границы болота в пределах кедрово-сосново-березового болотнотравного заболоченного леса. Второй изолированный контур, соответствующий котловине минерального дна, расположен на расстоянии 150-300 м от Бакчарского болотного массива. Дно котловины неоднородное, имеет несколько понижений, где мощность торфяной залежи достигает своего максимального значения – 1,5 м, при среднем значении 1 м и стандартном отклонении 0,2 (по данным 30 измерений) (Синюткина и др., 2018).

Мощность торфяной залежи, м

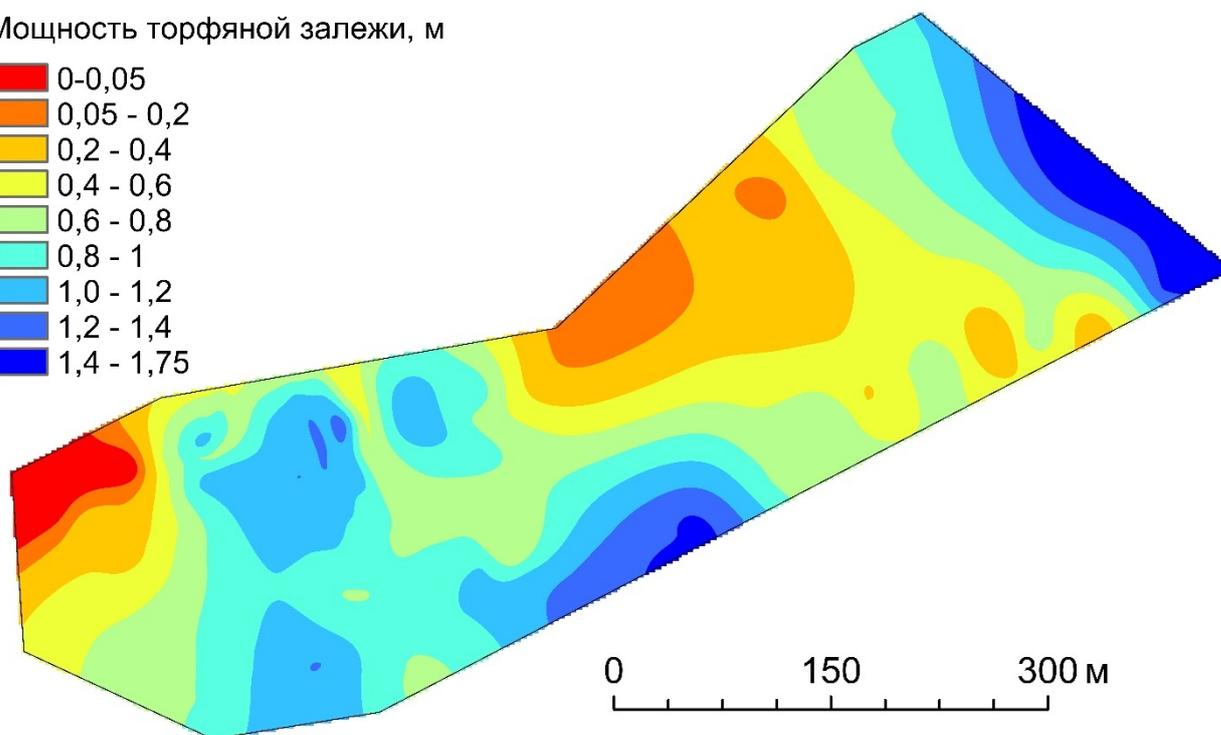
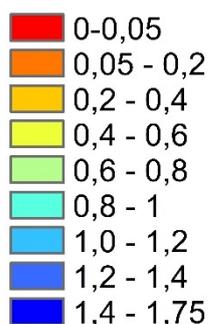


Рисунок 4. Мощность торфяной залежи ключевого участка

Рельеф минерального дна и поверхности. Поверхность ключевого участка практически ровная с общим уклоном на юго-запад. Перепад высот не превышает 2 м. При схожем значении амплитуды колебаний высот, поверхность минерального дна более расчлененная. Выделяется два понижения, в настоящее время заполненных торфом (рис. 5).

Углы наклона минерального дна ключевого участка изменяются в пределах 0-1,5°; на большей части территории значения не превышают 0,2-0,3°. Среднее значение составляет 0,23°, стандартное отклонение 0,15. На участках, пространственно соответствующих склонам котловин, углы наклона минерального дна составляют около 0,5°. Высокие значения углов наклона, достигающие 1,0-1,5°, соответствуют границе заболоченного и суходольного лесов в западной части ключевого участка. Использование данных георадиолокации с высоким пространственным разрешением позволило выделить участок с экстремальным значением угла наклона поверхности 2°, соответствующий границе болота и заболоченного леса.

В результате развития процесса торфонакопления произошло выравнивание исходной поверхности. Среднее значение угла наклона поверхности понизилось до 0,15° со стандартным отклонением 0,08. В пределах окраинной части Бакчарского болотного массива отмечена инверсия уклонов минерального дна и современной поверхности в результате интенсивного торфонакопления. На границе березово-сосново-кустарничково-пушицево-сфагнового болота и кедрово-сосново-березового болотнотравного заболоченного леса выделен участок повышения минерального дна, в настоящее время с практически ровной поверхностью (угол наклона менее 0,1°). Участок характеризуется максимальным значением увлажненности местообитания при практически полном отсутствии торфяной залежи. Максимальные значения углов наклона современной поверхности 0,2-0,3° соответствуют участку заболоченного леса на некотором

удалении от границы Бакчарского болотного массива. В пределах изолированного понижения произошло уменьшение средних значений углов наклона до 0-0,15°.

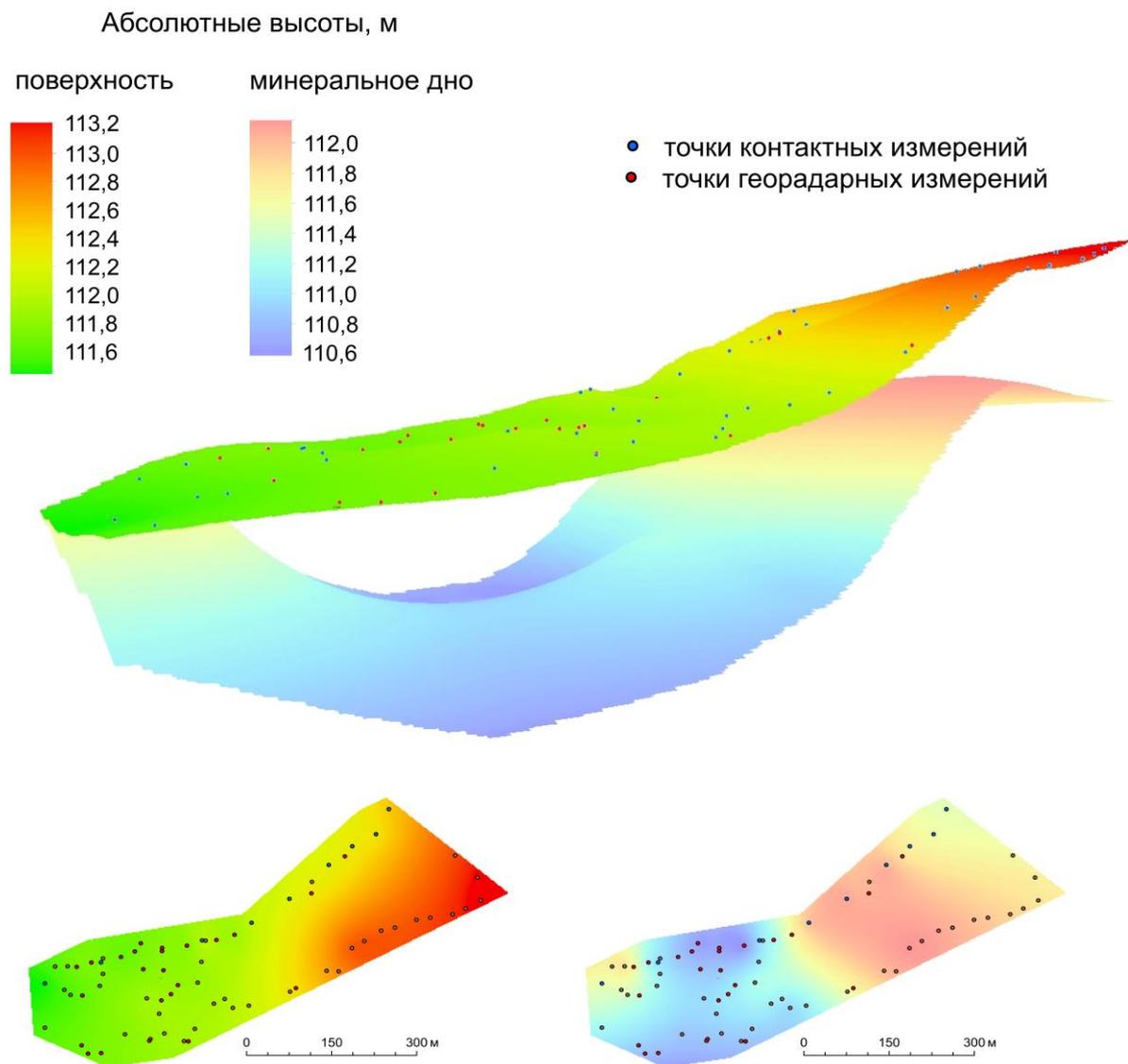


Рисунок 5. Цифровые модели рельефа современной поверхности и минерального дна ключевого участка

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Пространственные закономерности в изменении видового состава растительного покрова, увлажнения местообитаний и мощности торфяной залежи при удалении от болотного массива не выявлены, что указывает на влияние комплекса факторов, определяющих состояние и степень гидроморфной трансформации лесоболотных экотонів. В качестве основных факторов рассмотрено влияние уклона минерального дна и поверхности лесоболотного экотона, определяющие условия дренированности территории в зоне влияния болотного массива. Статистический анализ полученных в рамках проведения исследования данных с использованием метода главных компонент позволил оценить влияние некоторых геоморфологических показателей на характеристики растительного покрова заболоченных лесов. Углы наклона современной поверхности находятся в обратной зависимости с мощностью торфяной залежи (первая факторная ось), и в меньшей степени оказывают влияние на характеристики растительного покрова (рис.6). Эта закономерность подтверждает полученный в результате геоинформационного

моделирования вывод о значительном выравнивании поверхности в результате торфонакопления. При увеличении угла наклона минерального дна выявлено уменьшение высоты древесного яруса, увеличение увлажненности местообитания, а также увеличение доли растений, относящихся к 12 и 17 ступеням увлажнения (вторая факторная ось). Склоны котловин с высокими значениями углов наклона поверхности в настоящее время заполнены торфом, и участки характеризуются высокой степенью гидроморфной трансформации. Накопление торфа не только на плоских поверхностях, но и на склонах котловин с углами наклона около $0,5^\circ$, обусловлено возможностью накопления торфа при достаточном количестве воды, стекающей с прилегающего верхового болотного массива. Влияние рельефа минерального дна на состояние лесоболотного экотона неоднозначно, что выражено в увеличении доли растений, относящихся как к условиям относительно сухих, так и влажных местообитаний в пределах ключевого участка. Это может объясняться высокой степенью расчленения поверхности, возрастающей с увеличением увлажненности участка. Значительные перепады высот между положительными и отрицательными формами микрорельефа определяют различия в условиях произрастания видов и, как следствие, увеличение видового разнообразия и появлением видов свежелуговой экологической группы на высоких положительных формах микрорельефа.

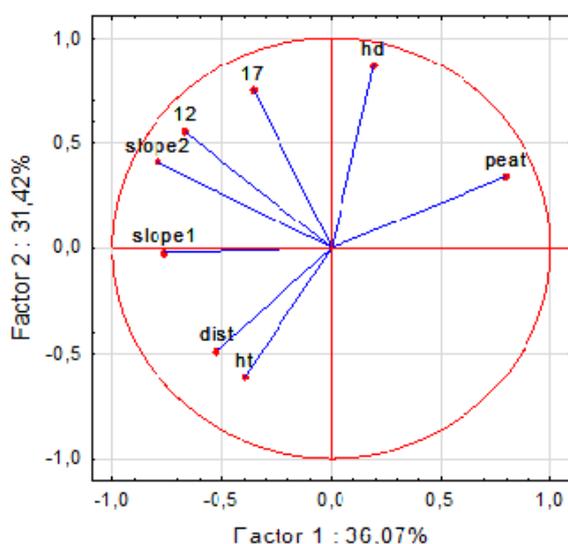


Рисунок 6. Результаты факторного анализа показателей основных компонентов ландшафта: dist – расстояние от границы болотного массива; slope1 – угол наклона поверхности; slope2 – угол наклона минерального дна; peat – мощность торфяной залежи; ht – высота древесного яруса; hd – увлажненность местообитания; 12 – удельный вес проективного покрытия видов 12 ступени увлажнения; 17 – удельный вес проективного покрытия видов 17 ступени увлажнения.

В свою очередь показатели микрорельефа поверхности находятся в тесной взаимосвязи с характеристиками древесного яруса, мощностью торфяной залежи и степенью увлажнения местообитания. Проведенный факторный анализ позволил разделить переменные на три факторные оси, первая из которых объединяет показатели микрорельефа, отражающие распределение высот относительно средней поверхности, долю сосны в составе древесного яруса и мощность торфа (рис.7). При увеличении мощности торфа и появлении сосны в древесном ярусе отмечено увеличение доли высот выше средней поверхности и уменьшение доли высот в интервале $-5-5$ см около средней поверхности. Ко второй факторной оси относятся общая сомкнутость крон древесного яруса и среднее квадратическое отклонение высот микрорельефа, находящиеся в прямой зависимости. Полученная закономерность подтверждает гипотезу качественной характеристики микрорельефа заболоченного леса о генезисе положительных форм микрорельефа за счет образования приствольных повышений и поваленных стволов, при отсутствии аккумулятивных форм. Третья факторная ось отражает прямую зависимость степени увлажнения местообитания от амплитуды колебаний высот поверхности. Таким образом, микрорельеф поверхности заболоченных лесов, находящийся в тесной взаимосвязи с характеристиками древесного яруса, оказывает влияние на распределение видов травяно-

кустарничкового яруса, обеспечивая расширение видового разнообразия за счет появления видов, характерных для более сухих местообитаний.

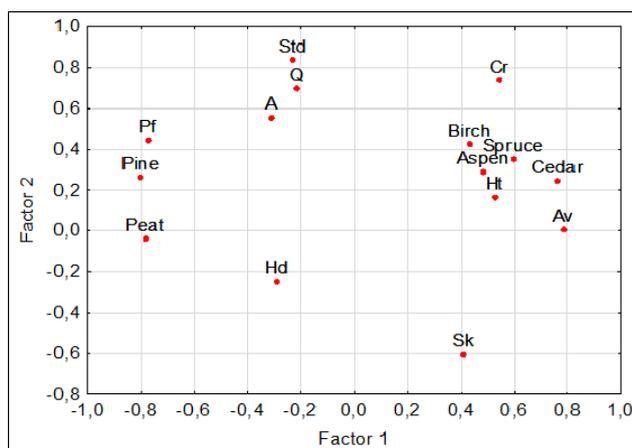


Рисунок 7. Результаты факторного анализа показателей микрорельефа и растительности.

А – амплитуда; Q – квартильный размах; Std – среднее квадратическое отклонение; Av – доля высот у средней поверхности; Pf – доля высот выше средней поверхности; Sk – коэффициент асимметрии; Birch – доля березы; Pine – доля сосны; Cedar – доля кедра; Aspen – доля осины; Spruce – доля ели; Cr – общая сомкнутость крон; Ht – высота древесного яруса; Hd – степень увлажнения; Peat – мощность торфа.

Таким образом, морфометрические показатели поверхности дают меньший вклад в объяснение пространственной дифференциации растительности в сравнении с морфометрией минерального дна. Форма минерального дна, определяющая гидрологические условия начала процесса торфонакопления, продолжает оказывать влияние на развитие процесса заболачивания и в настоящее время, что также подтверждается исследованиями (Graniero, Price, 1999). Развитие процесса заболачивания в зоне влияния болотного массива будет зависеть от топографии минерального дна с учетом новых условий увлажнения, создаваемых в результате трансформации исходной поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексной оценки состояния лесоболотного экотона Бакчарского болотного массива с использованием традиционных и современных методов получены новые данные о почвенно-растительном покрове, микрорельефе поверхности заболоченных лесов, находящихся в зоне влияния верхового болотного массива. Представлены данные о трансформации поверхности в результате торфонакопления, проведена оценка влияния морфометрических показателей рельефа поверхности и минерального дна на состояние растительного покрова заболоченных лесов. По результатам геоинформационного моделирования поверхности и минерального дна ключевого участка выявлено снижение среднего угла наклона с $0,23^\circ$ до $0,15^\circ$ в результате торфонакопления, при этом мощность торфяной залежи находится в обратной зависимости от углов наклона современной поверхности. Выравнивание поверхности лесоболотного экотона будет способствовать дальнейшей гидроморфной трансформации ключевого участка. По результатам оценки растительного покрова с использованием экологической шкалы увлажнения местообитания отмечено, что большая часть ключевого участка относится к сыро-лесолуговой ступени увлажнения, при этом наиболее увлажненным является участок в непосредственной близости с границей Бакчарского болотного массива. Отмечено, что уклон минерального дна продолжает оказывать влияние на состояние растительного покрова и условия увлажнения местообитания. Статистически подтверждено влияние расчлененности поверхности на увлажнение местообитания, что делает целесообразным использование количественных показателей микрорельефа при оценке гидроморфной трансформации лесоболотных экотонов. Количественная оценка вклада рельефа, как основного фактора формирования болот, полученная с использованием современных методов исследования, может быть использована как основа для разработки прогнозных моделей процессов заболачивания прилегающих к болотам территорий и оценки роли расширения площадей болот в динамике глобального цикла углерода.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00387 –мол_а

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабиков Б.В., Кобак К.И. Поглощение атмосферного углекислого газа болотными экосистемами территории России в голоцене. Проблемы заболачивания // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2016. № 1(349). С. 6–36. doi: [10.17238/issn0536-1036.2016.1.9](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.1.9)
2. Евсеева Н.С., Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А. и др. Ландшафты болот Томской области. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. 400 с.
3. Инишева Л.И., Березина Н.А. Возникновение и развитие процесса заболачивания на Западно-Сибирской равнине // *Вестник Томского государственного университета*. 2013. № 366. С. 172–179.
4. Каширо М.А., Синюткина А.А., Гаикова Л.П. Особенности интерпретации данных георадиолокационной съемки почвенного покрова лесоболотных экотонов // *Почвы в биосфере: Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН*. (Новосибирск, 10–14 сентября 2018 г.). Томск, 2018. Ч. II. С. 380–384.
5. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К, 2001. 584 с.
6. Никифоров А.Н., Дюкарев А.Г. Почвы заболоченных ландшафтов восточных склонов Васюганской равнины // *Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: Сборник материалов V Международной научной конференции* (Томск, 7–11 сентября 2015 г.). Томск, 2015. С. 65–67.
7. *Почвоведение. Типы почв, их география и использование*. Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Часть 2. Москва: Высшая школа, 1988. 368 с.
8. Прокопьев Е.П. Экология растений (особи, виды, экогруппы, жизненные формы). Томск: Томский государственный университет, 2001. 340 с.
9. *Западная Сибирь* / Под ред. Рихтер Г.Д.. М.: Издательство АН СССР, 1963. 488 с.
10. Синюткина А.А., Гаикова Л.П., Каширо М.А. Изучение пространственной дифференциации лесоболотных экотонов с использованием методов георадиолокации // *Почвы в биосфере: Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН*. (Новосибирск, 10–14 сентября 2018 г.). Томск, 2018а. Ч. II. С. 423–426.
11. Синюткина А.А., Гаикова Л.П., Малолетко А.А., Магур М.Г., Харанжевская Ю.А. Трансформация поверхности и растительного покрова осушенных верховых болот юго-востока Западной Сибири // *Вестн. Том. гос. ун-та. Биология*. 2018b. № 43. С. 196–223. doi: [10.17223/19988591/43/10](https://doi.org/10.17223/19988591/43/10)
12. Синюткина А.А., Рочев В.В., Малолетко А.А. Оценка мозаичности болот таежной зоны Западной Сибири // *Двенадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климатологическому мониторингу*. Тезисы докладов российской конференции (Томск, 17–20 октября). Томск, 2017. С. 175–176.
13. Гюремнов С.Н. Торфяные месторождения. Москва: Недра, 1976. 488 с.
14. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М: Наука, 1983. 197 с.
15. Чудиновская Л.А., Синюткина А.А. Картографирование растительных сообществ окраинных частей Большого Васюганского болота // *Перспективы развития и проблемы современной ботаники: Материалы IV(VI) Всероссийской молодежной конференции с участием иностранных ученых* (Новосибирск, 8–12 октября 2018 г.). Новосибирск, 2018. С. 244–247.
16. Graniero P.A., Price J.S. The importance of topographic factor on the distribution of bog and heath in a Newfoundland blanket bog complex // *Catena*. 1999. №36. Iss.3. P. 233–254. doi: [10.1016/S0341-8162\(99\)00008-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00008-9)
17. Laamrani A, Valeria O., Bergeron Y., Fenton N., Cheng L., Anvomi K. Effect of topography and thickness of organic layer on productivity of black spruce boreal forest of Canadian Clay Belt region // *Forest Ecology and Management*. 2014. №330. P. 144–157. doi: [10.1016/j.foreco.2014.07.013](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.013)
18. Sass O., Friedmann A., Haselwanter G., Wetzel K.-F. Investigating thickness and internal structure of alpine mires using convention and geophysical techniques // *Catena*. 2010. №80. Iss. 3. P. 195–203. doi: [10.1016/j.catena.2009.11.006](https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.11.006)
19. Ulriksen P. Investigation of peat thickness with radar // Proc. of 6th Int. Peat Congress, Duluth, Minnesota, August 1980. P. 126–129.
20. Walter J., Hamann G., Luck E., Klingenfuss C., Zeitz J. Stratigraphy and soil properties of fens: Geophysical case studies from northeastern Germany // *Catena*. 2016. №142. P.112–125. doi: [10.1016/j.catena.2016.02.028](https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.028)

Поступила в редакцию 05.11.2018

Принята 03.12.2018

Опубликована 29.12.2018

Сведения об авторах:

Синюткина Анна Алексеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник научного отдела Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства и торфа – филиала Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (Томск, Россия); ankalaeva@yandex.ru

Гашкова Людмила Павловна – младший научный сотрудник, научный отдел Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства и торфа – филиала Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН; аспирант кафедры географии Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия); gashkova-lp@rambler.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/)

ASSESSMENT OF THE STATUS OF THE BAKCHAR BOG MARGINAL PART OF THE GREAT VASYUGAN MIRE

© 2018 A.A. Sinyutkina, L.P. Gashkova

Address: Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian.

E-mail: ankalaeva@yandex.ru

The aim of the study. *The aim of the study was to assess the status of the forest-mire Bakchar bog ecotone (southern taiga subzone of Western Siberia) of the Great Vasyugan mire.*

Location and time of the study. *The key study site was located in the basin of the River Klyuch (56°58' NL, 82°36' EL). The study was conducted in 2017-2018.*

Methodology. *The georadiolocation method, field landscape studies and geoinformation modeling methods were used.*

Main results. *The study site was dominated by the mired birch-dominated forest on peat shallow soils. The surface microtopography is strongly partitioned, with the average value of the height standard deviation of 14 and the average amplitude of height fluctuation 58.4 cm. The amplitude of the height fluctuations directly determines the habitat moisture content, which makes it advisable to use quantitative microtopography parameters for assessing hydromorphic transformation of forest-mire ecotones. The main part of the territory may be categorized as the damp-forest-meadow stage of moistening, scoring 14,2-15,7 according to the ecological scale of D.N. Tsyganov. Statistical analysis showed that habitat moisture is mainly determined by its mineral bottom gradient, and the peat deposit thickness is directly dependent on the contemporary surface gradient. As a result of peat accumulation, the surface was leveled and the average gradient decreased from 0.23° to 0.15°, thus contributing to the further hydromorphic transformation of the site.*

Conclusion. *The comprehensive assessment of the status of the forest-mire ecotone of the Bakchar mire provided new information about ground surface transformation due to peat accumulation. Quantitative estimate of the relief role as a main factor of mire development in the area was obtained. This new information can be used as a basis to develop prognostic models of mire development and growth in the areas adjacent to them and to evaluate the role of potentially increased mire areas in the global carbon cycle.*

Key words: *geoinformation modeling; GPR; mired forest; microtopography; peat deposit; mire development*

How to cite: *Sinyutkina A.A., Gashkova L.P. Assessment of the status of the Bakchar bog marginal part of the Great Vasyugan mire // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(4): 243–255. (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Babikov B.V., Kobak K.I. Absorption of Atmospheric Carbon Dioxide by the Wetland Ecosystems of Russia in Holocene. The Problems of Paludification, *Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal)*, 2016, No1(349), p. 6–36. doi: [10.17238/issn0536-1036.2016.1.9](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.1.9) (in Russian)
2. Evseeva N.S., Sinyutkina A.A., Kharanzhevskaya Yu.A. et al. *Landscape of the mires in Tomsk Region*, 2012, Tomsk: Publishing house of NTL, 400 p. (in Russian)
3. Inisheva L.I., Berezina N.A. Origin and development of mire formation process in West-Siberian plain, *Tomsk State University Journal*, 2013, No 366, p. 172–179. (in Russian)

4. *Kashiro M.A., Sinyutkina A.A., Gashkova L.P.* Peculiarities of data interpretation GPR survey of soil cover of forest-bog ecotones. In book: *Soils in Biosphere / Proc. of the Rus. Sci. Conf. with international participation, dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS*, (Novosibirsk, 10–14 September, 2018), Tomsk, 2018, V. II, p. 380–384. (in Russian)
5. *Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Ju., Shvedchikova N.K.* Swamp systems of Western Siberia and their conservation role. Tula: Grif and K, 2001. 584 p. (in Russian)
6. *Nikiforov A.N., Diukarev A.G.* Waterlogged soil landscapes of the eastern slopes Vasyugan Plain, *Reflection bio-geantroposferalinteractions in soils and soil cover / Proc. of the Vth Int. Sci. Conf. dedicated to the 85th anniversary of the Department of Soil Science and Soil Ecology, TSU.*, Tomsk, 2015, p. 65-67.
7. *Soil Science. Soil types, their geography and use.* V.A. Kovda, B.G. Rozanov (ed.), Moscow, Vysshaya shkola Pbs., 1988, 368 p. (in Russian)
8. *Prokop'ev E.P.* *Plant ecology (individuals, species, eco groups, life forms)*. Tomsk, TSU Pbs., 2001, 340p. (in Russian)
9. *West Siberia / Rikhter G.D.* (ed.). Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1963, 488 p. (in Russian)
10. *Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Kashiro M.A.* Georadiolocation studies of the spatial differentiation of forest and mire ecotons. In book: *Soils in Biosphere / Proc. of the Rus. Sci. Conf. with international participation, dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS*, (Novosibirsk, 10–14 September, 2018), Tomsk, 2018a, V. II, p. 423–426. (in Russian)
11. *Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Maloletko A.A., Magur M.G., Kharanzhevskaya Yu.A.* Transformation of the surface and vegetation cover of drained bogs in Tomsk region, *Tomsk State University Journal of Biology, 2018b, No43, p. 196-223.* doi: [10.17223/19988591/43/10](https://doi.org/10.17223/19988591/43/10) (in Russian)
12. *Sinyutkina A.A., Rochev V.V., Maloletko A.A.* Estimation of the swag mosaicity of the taiga zone in the Western Siberia, The XIIth Siberian Meeting and School of Young Scientists on Climate and Ecological monitoring: Abstracts of reports on All-Rus. Conf. (Tomsk, 17–20 October 2017), Tomsk, 2017. p. 175–176. (in Russian)
13. *Tyuremnov S.N.* *Peat deposits*. Moscow, Nedra Pbs, 1976, 488 p. (in Russian)
14. *Tsyganov D.N.* *Phytoindication of ecological regimes in the subzone of coniferous-deciduous forests*, Moscow, Nauka Pbs, 1983, 197 p. (in Russian)
15. *Chudinovskaya L.A., Sinyutkina A.A.* Mapping of plant communities of the marginal parts of the Great Vasyugan Mire, *Prospects for development and problems of modern botany / Proc. of the IVth Rus. Youth Conf. with the participation of foreign scientists* (Novosibirsk, October 8–12, 2018), Novosibirsk, 2018, p. 244–247. (in Russian)
16. *Graniero P.A., Price J.S.* The importance of topographic factor on the distribution of bog and heath in a Newfoundland blanket bog complex, *Catena, 1999, No36, Iss.3, p. 233–254.* doi: [10.1016/S0341-8162\(99\)00008-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00008-9)
17. *Laamrani A, Valeria O., Bergeron Y., Fenton N., Cheng L., Anvomi K.* Effect of topography and thickness of organic layer on productivity of black spruce boreal forest of Canadian Clay Belt region, *Forest Ecology and Management, 2014, N°330, p. 144–157.* doi: [10.1016/j.foreco.2014.07.013](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.013)
18. *Sass O., Friedmann A., Haselwanter G., Wetzler K.-F.* Investigating thickness and internal structure of alpine mires using convention and geophysical techniques, *Catena, 2010, N°80, Iss. 3, p. 195–203.* doi: [10.1016/j.catena.2009.11.006](https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.11.006)
19. *Ulriksen P.* Investigation of peat thickness with radar, *Proc. of 6th Int. Peat Congress, Duluth, Minnesota, August 1980, p. 126–129.*
20. *Walter J., Hamann G., Luck E., Klengenfuss C., Zeitz J.* Stratigraphy and soil properties of fens: Geophysical case studies from northeastern Germany, *Catena, 2016, No142, p. 112–125.* doi: [10.1016/j.catena.2016.02.028](https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.028)

Received 05 November 2018

Accepted 03 December 2018

Published 26 December 2018

About the authors:

Sinyutkina Anna A. – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies (Tomsk, Russia); ankalaeva@yandex.ru

Gashkova Ludmila P. – Researcher, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, Tomsk, Russian Federation, also a post-graduate student at the Department of Geography, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia); gashkova-lp@rambler.ru

The authors read and approved the final manuscript



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



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

© 2018 Л. Г. Никонова¹, И. Н. Курганова², В. О. Лопес де Гереню², В.А. Жмурин², Е.А. Головацкая¹

Адрес: ¹ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, проспект Академический 10/3, г. Томск, 634055, Россия. E-mail: lili112358@mail.ru, golovatskayaea@gmail.com

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, ул. Институтская, д. 2 корп.2, г. Пушино, Московская область, 142290, Россия.

E-mail: ikurg@mail.ru, vlopes@mail.ru, zhmurin.vasya@mail.ru

Цель исследования. Количественная оценка влияния температуры на скорость разложения современных растений-торфообразователей олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири в условиях длительного модельного эксперимента.

Место и время проведения. Образцы основных растений-торфообразователей (листья кустарничка *Chamaedaphne calyculata* Moench., ветвь травянистого растения *Eriophorum vaginatum* L., очес мха *Sphagnum fuscum* Klinggr.) были отобраны в сентябре 2017 года на территории стационара «Васюганье» (ИМКЭС СО РАН) на олиготрофном болоте «Бакчарское» (Бакчарский район, Томская область, 56° 26' с.ш., 84° 50' в.д.). Лабораторный эксперимент по оценке динамики скорости разложения растительных субстратов проводился с ноября 2017 г. по апрель 2018 г.

Методология. Скорость разложения растительного опада основных растений-торфообразователей ($DecR$, $\mu\text{г C/g}$ субстрата/час) оценивали в рамках 6-ти месячного лабораторного эксперимента по интенсивности выделения $C(CO_2)$ при 2, 12 и 22°C. Влажность растительных проб соответствовала 90% их водоудерживающей способности. Определение скорости выделения CO_2 проводили 3-5 раз в неделю в течение первого месяца эксперимента и 1 раз в неделю – все последующее время. Влияние температуры на величину $DecR$ оценивали с помощью температурного коэффициента Q_{10} .

Основные результаты. Наибольшая интенсивность выделения $C(CO_2)$ из всех растительных образцов при 22°C фиксировалась в первые 2-3 недели проведения эксперимента, а при 2°C максимальные значения интенсивности выделения $C(CO_2)$ наблюдались только спустя 1-2 недели после начала инкубирования образцов. Самые значительные потери $C(CO_2)$ за 6 месяцев эксперимента демонстрировали *Chamaedaphne calyculata* при 22°C и *Eriophorum vaginatum* при 12°C (21% и 23% соответственно). Самые высокие значения температурного коэффициента Q_{10} выявлены для *Eriophorum vaginatum* в диапазоне температур 2-12°C, а для *Chamaedaphne calyculata* – в интервале 12-22°C.

Заключение. Температура и вид растительного субстрата оказывают значительное влияние на скорость разложения растений-торфообразователей. При влажности, соответствующей 90% водоудерживающей способности, все растительные образцы за исключением *Eriophorum vaginatum* характеризовались наиболее высокими суммарными потерями $C(CO_2)$ (за все время эксперимента) при температуре 22°C. Образцы *Sphagnum fuscum* демонстрировали самую высокую устойчивость к разложению. Величина температурного коэффициента Q_{10} также зависела от вида растительного образца и температурного интервала, для которого выполнялся расчет.

Ключевые слова: торфяные олиготрофные почвы; гистосоли; интенсивность выделения CO_2 ; *Sphagnum fuscum*; *Chamaedaphne calyculata*; *Eriophorum vaginatum*; гидротермические условия; деструкция органического вещества

Цитирование: Никонова Л.Г., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Жмурин В.А., Головацкая Е.А. Оценка влияния температуры на скорость разложения растений-торфообразователей в условиях длительного модельного эксперимента // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(4). С.256 – 266.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изучение процессов трансформации органического вещества торфяных почв приобретает большое значение в связи с изменениями климата, влияющими на углеродный баланс всех типов экосистем, включая болотные. Особенностью болотных экосистем является их способность на долгое время исключать углерод из круговорота веществ за счет активных процессов консервации растительных остатков в условиях постоянного переувлажнения

(Тюремнов, 1976; Inisheva et al., 2016). В торфяных отложениях современных болот России сосредоточенно больше углерода, чем во всех лесах России (Zavarzin, Kudеуarov, 2006).

Основная масса углерода, связанного в органическом веществе торфа, освобождается в виде CO_2 в результате жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Наиболее интенсивно деструкция органического вещества проходит в летнее время года, когда уровень болотных вод понижается, и атмосферный кислород свободно проникает в верхние горизонты торфяной толщин. В зимний период наблюдается ослабление процессов разложения, связанное с понижением активности микроорганизмов (Козловская и др., 1978; Миронычева-Токарева и др., 2013, Никонова и др., 2016, Головацкая и др., 2017). Максимальная потеря в весе наблюдается на первых этапах деструкции растительных остатков, когда микроорганизмы разрушают наиболее доступные компоненты, содержание которых со временем убывает, и, следовательно, уменьшаются потери массы (Боч, 1979; Nikonova et al., 2018).

По стойкости к разложению растительность болот можно разделить на 2 группы: (1) не фиксирующиеся в ботаническом составе органического слоя болотных почв (быстроразлагающаяся фракция) – листья *Chamaedaphne calyculata*, *Menyanthes trifoliata*, разнотравье; (2) постоянно фиксирующиеся в ботаническом составе торфа (стабильная фракция) – все фракции кустарничков, узлы кушения, корни и корневища трав *Carex* (осоки), *Scheuchzeria* (шейхчерия), *Eriophorum* (пушица), все сфагновые мхи (Вишнякова, 2012; Berg, 2018). Выявлено, что в составе торфяной залежи надежно сохраняются остатки только части тех видов, которые выступают в качестве эдификаторов или доминантов в экологических условиях данного болота (Козловская с соавт., 1978). Однако, опад некоторых растений при смешивании их с остатками растений второй группы, способен изменять скорость их разложения (Zhang et al., 2014; Leroy et al., 2018). Такой эффект возникает за счет обмена питательными веществами между остатками растительных образцов и способен ускорять разложение растительных остатков (Vos et al., 2013).

Таким образом, интенсивность разложения растительных остатков в болотных экосистемах зависит как от биотических факторов, таких как химический состав растений-торфообразователей и активность микроорганизмов, так и от абиотических, основными из которых являются температура и влажность (Ozalp et al., 2007). Предполагается, что наблюдаемое на территории Западной Сибири увеличение температуры воздуха и снижение уровня болотных вод может привести к ускорению процесса разложения торфа (Hogg et al., 1992).

Основная цель исследования заключалась в количественной оценке влияния температуры на скорость разложения современных растений-торфообразователей олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири в условиях длительного модельного эксперимента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы основных растений-торфообразователей (листья прошлых лет кустарничка *Chamaedaphne calyculata* Moench., ветошь травянистого растения *Eriophorum vaginatum* L, очес мха *Sphagnum fuscum* Klinggr.) были отобраны в сентябре 2017 года на территории стационара «Васюганье» (ИМКЭС СО РАН) на олиготрофном болоте «Бакчарское» (Бакчарский район, Томская область, $56^{\circ} 26'$ с.ш., $84^{\circ} 50'$ в.д.). Кроме перечисленных видов растений был также подготовлен смешанный растительный образец, состоящий на 60% из *Sph. fuscum* и на 40% - из *C. Calyculata*, что соответствовало доле каждого вида в растительном опаде наиболее типичного фитоценоза на территории болота «Бакчарское» (Головацкая и др., 2013). Модельный эксперимент проводился на базе Лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино, Московская область) с ноября 2017 г. по апрель 2018 г.

Навески растительного материала (1-3 г воздушно-сухой массы) помещали в стеклянные флаконы (объем 110 мл) и увлажняли до состояния, соответствующего 90% их полной влагоемкости (ПВ, или водоудерживающей способности, соответствующую влажности при которой происходило полное насыщение субстрата водой с последующим оттоком гравитационной влаги). Для увлажнения использовали болотную воду, в которой содержалась естественная микрофлора, характерная для того места, где произрастали растения. Флаконы с увлажненным растительным опадом выдерживали 7 дней при комнатной температуре (прединкубация), чтобы передать всплеска выделения CO_2 , обусловленного реакцией микроорганизмов на увлажнение образцов (Ananyeva et al., 2009). Затем флаконы помещали в термостаты для последующего непрерывного инкубирования в течение 6 месяцев при

температурах: 2, 12 и 22°C. Выбор таких температур основывался на данных, полученных во время полевых исследований в условиях Бакчарского болота (Головацкая и др., 2017), согласно которым средняя температура торфяной залежи ряма на глубине 15 см от поверхности за вегетационный период составляет 12°C, а в среднем за год - около 2°C. В течение самого теплого месяца (июль) температура верхнего 15-см слоя торфа в дневное время может составлять 22°C. Во время эксперимента влажность растительных проб поддерживали на постоянном уровне путем добавления болотной воды, регулярно контролируя вес исходных навесок. Опыт проводился в трехкратной повторности.

Измерение скорости выделения CO₂, или интенсивности разложения (*DecR*) основных растений-торфообразователей проводили 3-5 раз в неделю в течение первого месяца эксперимента и 1 раз в неделю – все последующее время. В день замера, флаконы извлекались из термостатов, проветривались в течение 10 мин в токе воздуха, герметично закрывались резиновыми крышками и снова помещались в термостат. Спустя 3-4 часа проводили определение концентрации CO₂ во флаконе с помощью проточного инфракрасного газоанализатора LiCor-820 (Li-COR Biosciences, США). Для предотвращения изменения исходного значения влажности, между замерами флаконы закрывали полиэтиленовыми пленками, которые пропускали углекислый газ, но сдерживали испарение.

В исходных растительных образцах определяли зольность, величину pH, гигроскопическую влажность и величину полной влагоемкости (ПВ, %), соответствующую влажности при которой происходило полное насыщение субстрата водой с последующим оттоком гравитационной влаги. Также, в растительных образцах определяли содержание углерода (C) и азота (N) на автоматическом CHNS-анализаторе Leco (LECO Corporation, США).

Для расчета *DecR* (мкг C/г субстрата/час) использовали формулу (Kurganova et al., 2012):

$$DecR = \frac{dC \times M(C) \times V_{flask} \times 10}{m \times V_m \times t} \quad (1),$$

где *dC* – показания прибора с учетом нулевого значения, объемные %; *M(C)* – молярная масса углерода, 12 г/моль; *V_{flask}* – объем флакона, мл; *V_m* – молярный объем газа, 22,4 л/моль; *t* – время инкубации, час; *m* – масса абсолютно сухого субстрата, г.

Влияние температуры на величину *DecR* оценивали с помощью температурного коэффициента *Q₁₀*, показывающего как изменяется интенсивность разложения растительных субстратов при изменении температуры на 10°C, в соответствии с формулой (Chen et al., 2013):

$$Q_{10} = \left(\frac{DecR_2}{DecR_1} \right)^{\left[\frac{10}{(T_2 - T_1)} \right]} \quad (2),$$

где *DecR₁* и *DecR₂* – средняя скорость разложения субстратов при температурах *T₁* и *T₂*. Температурный коэффициент *Q₁₀* в нашем эксперименте определяли для двух температурных интервалов: 2–12°C (низкотемпературный) и 12–22°C (высокотемпературный).

Статистическая обработка данных выполнялась в программе Microsoft Excel. На графиках показаны стандартные ошибки для средних скоростей разложения для каждого срока и разных типов растительных субстратов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ основных физико-химических свойств растительных образцов показал, что наиболее благоприятными свойствами для жизнедеятельности микроорганизмов-деструкторов, осуществляющих разложение органического вещества, обладали листья *S. Calyculata*, содержащие самые высокие количества C и N и характеризующиеся самыми узким значением C/N. Более низкие содержания C и N при из широком соотношении, низкие значения pH и зольности, выявленные для *S. fuscum*, предположительно должны замедлять деструкционные процессы как в чистых образцах сфагнового мха, так и в смешанном образце. По многим анализируемым параметрам *E. vaginatum*, так же как и смешанный образец, занимала промежуточное положение между *S. fuscum* и *S. calyculata* (табл. 1).

Физико-химические свойства исследуемых растений-торфообразователей

Показатель \ Растение	C, %	N, %	Зольность, %	pH
<i>S. fuscum</i>	44,0	0,37	0,74	3,4
<i>E. vaginatum</i>	45,4	0,93	2,25	4,8
<i>C. calyculata</i>	51,8	1,15	2,23	4,9
Смешанный образец	46,2	0,66	1,53	3,0

Динамика скорости разложения растительных образцов при различных значениях температуры заметно отличалась. Наиболее интенсивное выделение $C(CO_2)$ из всех видов растительных субстратов при 22°C фиксировалось в первые 2-3 недели проведения эксперимента, в то время как при 2°C – только спустя 1-2 недели после начала инкубирования образцов (рис. 1). При этом снижение скорости разложения растений во время эксперимента при 2°C происходило намного медленнее, чем при 22°C. Так, например, у *E. vaginatum* при 22°C максимальные значения *DecR* были зафиксированы через сутки, а при 2°C – только на 7 сутки после начала эксперимента. При этом для всех образцов самая низкая активность разложения наблюдались при 2°C, начиная с 3-го месяца эксперимента. Динамика разложения смешанного образца из *Sph. fuscum* и *C. calyculata* примечательна тем, что максимальная величина *DecR* при температурах 2 и 12°C превышала соответствующие значения его отдельных компонентов (рис 1).

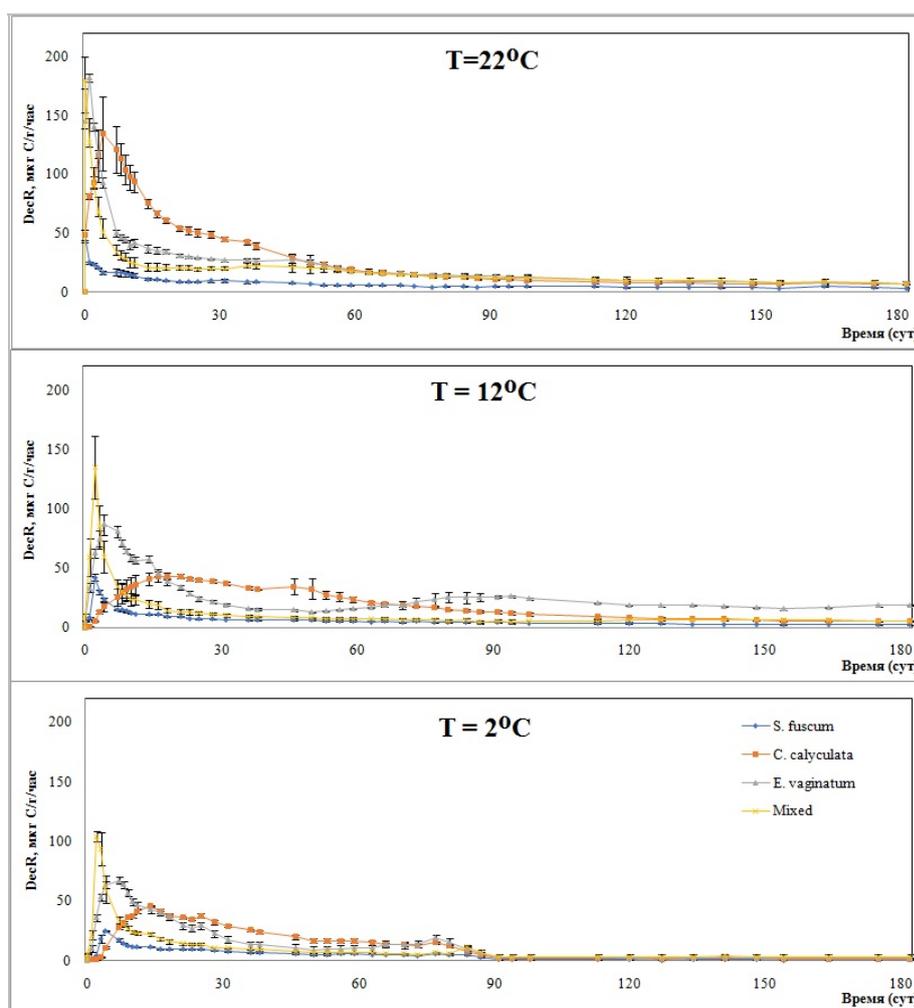


Рисунок 1. Динамика скорости выделения $C(CO_2)$ из различных видов растительного опада при температурах (Т) 22, 12 и 2° С и влажности, соответствующей 90% их полной влагоемкости

Снижение температуры инкубирования вызывало уменьшение общих потерь $C(CO_2)$ за 6 месяцев эксперимента (C_{cum}) у всех образцов кроме *E. vaginatum*, для которых наибольшие потери углерода были характерны при 12°C (рис. 2 А). Самым высоким суммарное выделение $C(CO_2)$ за 6 месяцев эксперимента было у *C. calyculata* (107 мг С/г), при температуре 22°C и уменьшалось в 2 раза (до 53 мг С/г) при температуре 2°C. Образцы *Sph. fuscum* демонстрировали самую высокую устойчивость к разложению и суммарные потери $C(CO_2)$ в зависимости от температуры варьировали от 18 до 29 мг С/г. Величина C_{cum} для смешанного образца принимала промежуточное значение между потерями $C(CO_2)$, полученными для его отдельных компонентов (рис. 2 А).

Количество выделившегося $C(CO_2)$ было оценено также в % по отношению к исходному количеству С в растительных образцах (рис 2 Б). За 6 месяцев эксперимента образцы *Sph. fuscum* в зависимости от температуры потеряли незначительную долю исходного количества С – всего 4-6%. Наибольшие потери углерода характерны для *E. vaginatum* при 12°C и составили 23% от первоначального содержания С в образце.

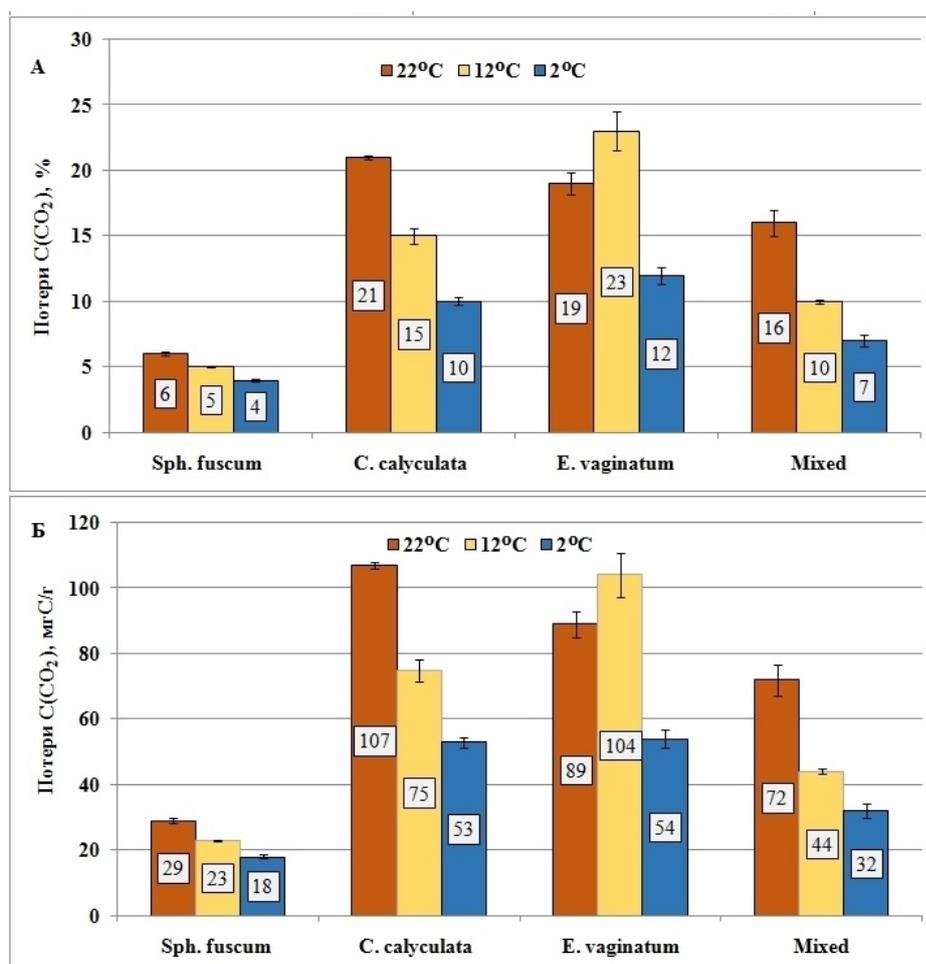


Рисунок 2. Суммарные потери $C(CO_2)$ из различных видов растительного опада при температурах 2, 12 и 22°C: А - мг С/г растительного опада; Б - % от исходного количества С в образце

Температурный коэффициент Q_{10} в зависимости от вида растительного образца в низкотемпературном диапазоне 2-12°C варьировал от 1,13 до 1,55, а в температурном интервале 12-22°C составлял 1,12-1,94 (рис. 3), что чуть ниже типичных величин константы Вант-Гоффа, характерных для химических реакций ($Q_{10}=2-3$). Самые высокие значения Q_{10} в низкотемпературном интервале температур (2-12°C) были характерны для *E. vaginatum*, а в высокотемпературном интервале (12-22°C) – для *C. calyculata*.

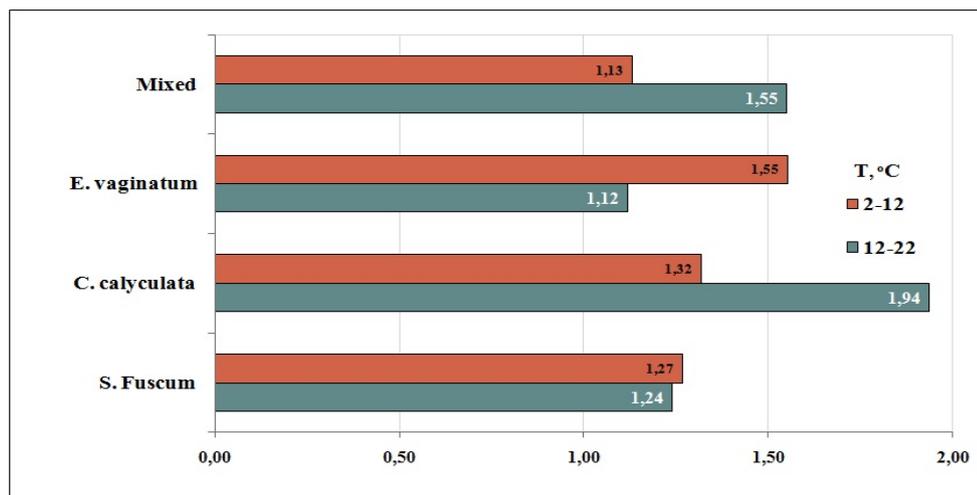


Рисунок 3. Температурный коэффициент Q_{10} для средней скорости разложения различных видов растительного опада в температурных интервалах 2 – 12 и 12 – 22°C

ОБСУЖДЕНИЕ

При всех температурах в первые 2-3 недели эксперимента происходил всплеск выделения $C(CO_2)$ из исследуемых растительных субстратов, который с понижением температуры становился менее отчетливым (см. рис 1). Продолжительность и время наступления периода максимального выделения $C(CO_2)$ из растительных проб в значительной степени зависели как от вида растительного субстрата, так и от температуры проведения эксперимента. Так, опад *C. calyculata* характеризовался наиболее поздним проявлением периода с высокими значениями *DecR* при всех температурах. Высокие скорости разложения растительных образцов на начальном этапе эксперимента объясняются, по-видимому, тем, что в свежем растительном опаде содержится много водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, которые потребляются микроорганизмами-деструкторами в первую очередь (Бамбалов, 1990). В ходе последующего разложения, содержание легкодоступных компонентов углеводного и полипептидного комплексов убывает, и соответственно, уменьшаются потери органического вещества (Hajek, 2009). Таким образом, в динамике разложения растений-торфообразователей ключевую роль играет их состав, который определяет как характер разложения, так и величину максимальных значений *DecR*.

Суммарное выделение $C(CO_2)$ за 6 месяцев эксперимента дает представление о том, какое количество углерода в растительных образцах было потеряно в их процессе деструкции. Наименьшие потери углерода характерны для *Sph. fuscum*, а наибольшие – *C. calyculata*, что хорошо согласуется с данными, полученными для тех же растений-торфообразователей в естественных условиях (Головацкая и др., 2013; Косых и др., 2009) и может быть объяснено особенностями химического состава исходных растительных образцов. Так, *Sph. fuscum* характеризовался невысоким содержанием С и N и при широким соотношении C/N и низкими значениями pH, что могло тормозить процессы его активного разложения. Качественный состав *C. calyculata* и *E. vaginatum* был более благоприятным для протекания деструкционных процессов, и как следствие, потери $C(CO_2)$ из этих растений за время эксперимента были самые значительные.

Величина Q_{10} для скорости разложения органического вещества почвы и некоторых растительных субстратов, как правило, уменьшается с ростом температуры и возрастает при разложении устойчивых органических соединений (Fierer et al., 2005; Larionova et al., 2017). В нашем эксперименте уменьшение величины Q_{10} с ростом температуры прослеживалось только для *E. vaginatum*. Для *C. calyculata* и смешанного образца коэффициент Q_{10} , рассчитанный в интервале 12–22°C, напротив, был выше, чем в низкотемпературном диапазоне 2–12°C, что, по-видимому, можно объяснить различиями в составе исследуемых органических субстратов. Температурная чувствительность органических материалов в процессе длительной инкубации, как правило, не является одинаковой и уменьшается, демонстрируя самые высокие значения величины Q_{10} в первый месяц эксперимента (Kurganova et al., 2018; Larionova et al., 2017). По-видимому, на поздних стадиях разложения, в связи с возникновением адаптации сообщества микроорганизмов-деструкторов к гидротермическим условиям в ходе длительной инкубации, температурная чувствительность скорости разложения ослабевает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительное влияние на скорость трансформации растений-торфообразователей оказывали вид субстратов и температура. Максимальное выделение $C(CO_2)$ из растительных образцов наблюдалось на первых стадиях разложения. Сначала самые высокие значения $DecR$ фиксировалось при 22°C и только спустя 1-2 недели – при 2°C. При этом угасание активности разложения растений при 2°C происходило намного медленнее, чем при 22°C. Для всех образцов, кроме *E. vaginatum*, выявлено уменьшение общих потерь C за 6 месяцев эксперимента при понижении температуры. Максимальные потери $C(CO_2)$ наблюдались при разложении *S. calyculata* и *E. vaginatum* и в зависимости от температуры они составляли 10-23% от исходного количества C в образцах. Самые высокие значения температурного коэффициента Q_{10} выявлены для *E. vaginatum* в диапазоне температур 2-12°C, а для *S. calyculata* в интервале 12-22°C.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России № 0369-2016-0002 при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант №17-34-50041 мол_нр) и Программы Президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П. Динамика разложения растений на болотах Васюганья // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2012. № 7. С. 87-93.
2. Бамбалов Н.Н. Превращение отмерших растений в болотных биогеоценозах // *Эксперимент и математическое моделирование в изучении биогеоценозов лесов и болот*. М.: Наука, 1990. С. 53-63.
3. Боч М.С. Экосистемы болот СССР. Л.: Наука, 1979. 188 с.
4. Головацкая Е.А., Никонова Л.Г. Разложение растительных остатков в торфяных почвах олиготрофных болот // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2013. № 3 (23). С. 137-151.
5. Головацкая Е.А., Никонова Л.Г. Влияние уровня болотных вод на процессы трансформации сфагновых мхов в торфяной почве олиготрофных болот // *Почвоведение*. 2017. №5. С. 606-613. doi: 10.7868/80032180X17030030
6. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л.: Наука ЛО, 1978. 172 с.
7. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2009. № 3. С. 63-68.
8. Мишутин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 245 с.
9. Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Вишнякова Е.К. Продукционно-деструкционные процессы в болотных экосистемах Васюганья // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. 2013. Т. 4. № 1. С. 1-9.
10. Никонова Л.Г., Головацкая Е.А., Терещенко Н.Н. Влияние уровня болотных вод на процессы трансформации растений-торфообразователей в торфяной почве олиготрофных болот // *III Ковалевские молодежные чтения: тезисы докл. Всерос. конф (Новосибирск, 26-30 сентября 2016 г.)*. Новосибирск, 2016. С. 165-170.
11. Тюрелнов С.Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 487с.
12. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Ryzhova I.M., Bocharnikova E.O., Stolnikova E.V. Microbial biomass carbon and the microbial carbon dioxide production by soddy-podzolic soils in postagrogenic biogeocenoses and in native spruce forests of the southern taiga (Kostroma oblast) // *Eurasian Soil Science*. 2009. № 42(9). P. 1029-1037.
13. Berg B. Decomposing litter; limit values; humus accumulation, locally and regionally // *Applied Soil Ecology*. 2018. V. 123. P. 494-508. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.06.026
14. Chen H, Dong S, Liu L, Ma C, Zhang T, Zhu X, Mo J. Effects of experimental nitrogen and phosphorus addition on litter decomposition in an old-growth tropical forest // *PLoS One*. 2013 №8(12). Article № e84101. P. 84-101. doi: 10.1371/journal.pone.0084101
15. Fierer N., Craine J.M., McLaughlan K., Schimel J.P. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition // *Ecology*. 2005. V. 86. Iss.2. P. 320-326. doi: 10.1890/04-1254
16. Hajek T. Habitat and species controls on Sphagnum production and decomposition in a mountain bog // *Boreal environmental research*. 2009. № 14. p. 947-958.
17. Hogg E. H., Lieffers V. J., Wein R. W. Potential Carbon losses from peat profiles: effects of temperature, drought cycles, and fire // *Ecological Applications*. 1992. V. 2. №3. p. 298-306. doi: 10.2307/1941863
18. Inisheva L. I., Szajdak L., Sergeeva M. A. Dynamics of Biochemical Processes and Redox Conditions in Geochemically Linked Landscapes of Oligotrophic Bogs // *Eurasian Soil Science*. 2016. V. 49. №4. p. 466-474. doi: 10.1134/S1064229316040050

19. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Gallardo Lancho J.F., Oehm C.T. Evaluation of the rates of soil organic matter mineralization in forest ecosystems of temperate continental, Mediterranean, and tropical monsoon climates // *Eurasian Soil Science*. 2012. №1. P. 68–79. doi: [10.1134/S1064229312010085](https://doi.org/10.1134/S1064229312010085)
20. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Galibina N., Kapitsa E., Shorohova E. Coupled effect of temperature and mineral additions facilitates decay of aspen bark // *Geoderma*. 2018. № 316 p. 27–37. doi: [10.1016/j.geoderma.2017.12.014](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.014)
21. Larionova A.A., Maltseva A.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kvitkina A.K., Bykhovets S.S., Zolotareva B.N., Kudryarov V.N. Effect of temperature and moisture on the mineralization and humification of leaf litter in a model incubation experiment // *Eurasian Soil Science*. 2017. № 4. P. 422-431. doi: [10.1134/S1064229317020089](https://doi.org/10.1134/S1064229317020089)
22. Leroy F., Gogo S., Buttler A., Bragazza L., Laggoun-Défarge F. Litter decomposition in peatlands is promoted by mixed plants // *Journal of Soils and Sediments*. 2018. №18(3). P.739-749. doi: [10.1007/s11368-017-1820-3](https://doi.org/10.1007/s11368-017-1820-3)
23. Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Terechshenko N.N. Decomposition rate of peat-forming plants in the oligotrophic peatland at the first stages of destruction // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2018. V. 138. №. 1. P. 012013. doi: [10.1088/1755-1315/138/1/012013](https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012013)
24. Ozalp M., Conner W. H., Lockaby B. G. Above-ground productivity and litter decomposition in a tidal freshwater forested wetland on Bull Island, SC, USA // *Forest Ecology and Management*. 2007. V. 245. №. 1-3. P. 31-43. doi: [10.1016/j.foreco.2007.03.063](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.063)
25. Vos V., Van Ruijven J., Berg M., Peeters E., Berendse F. Leaf litter quality drives litter mixing effects through complementary resource use among detritivores // *Oecologia*. 2013. V.173. Iss.1. p. 269-280. doi: [10.1007/s00442-012-2588-1](https://doi.org/10.1007/s00442-012-2588-1)
26. Zavarzin G. A., Kudryarov V. N. Soil as the key source of carbonic acid and reservoir of organic carbon on the territory of Russia // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2006. V. 76. №1. P.12-26. doi: [10.1134/S1019331606010035](https://doi.org/10.1134/S1019331606010035)
27. Zhang L., Wang H., Zou J., Rogers W., Siemann E. Non-native plant litter enhances soil carbon dioxide emissions in an invaded annual grassland. // *PLoS one*. 2014. V.9. №3. Article No e9230. doi: [10.1371/journal.pone.0092301](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092301)

Поступила в редакцию 05.11.2018; принята 24.12.2018; опубликована 26.12.2018

Сведения об авторах:

Никонова Лилия Гарифулловна – аспирант, ведущий инженер лаборатории физики климатических систем ФГБУН Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск, Россия); lili112358@mail.ru

Курганова Ирина Николаевна – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» (Пушино, Московская область, Россия); ikurg@mail.ru

Лопес де Гереню Валентин Овидиович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» (Пушино, Московская область, Россия); vlopes@mail.ru

Жмурин Василий Анатольевич – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» (Пушино, Московская область, Россия); zhmurin.vasya@mail.ru

Головацкая Евгения Александровна – профессор РАН, доктор биологических наук, врио директора ФГБУН Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск, Россия); golovatskayaea@gmail.com

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

ESTIMATE OF TEMPERATURE EFFECT ON THE DECOMPOSITION RATE OF PEAT-FORMING PLANTS IN A LONG-TERM LABORATORY EXPERIMENT

© 2018 L.G. Nikonova¹, I.N. Kurganova², V.O. Lopes de Gerenyu², V.A. Zhmurin², E.A. Golovatskaya¹Address: ¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. E-mail: lili112358@mail.ru, golovatskayaea@gmail.com²Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia. E-mail: ikurg@mail.ru, vlopes@mail.ru, zhmurin.vasya@mail.ru

The aim of the study. To quantify the effect of the temperature on the decay rate of the modern peat-forming plants of oligotrophic bogs in the southern taiga subzone of Western Siberia in a long-term laboratory experiment.

The study location and time. Samples of the prevalent peat-forming plants (*Chamaedaphne calyculata* Moench., *Eriophorum vaginatum* L., and *Sphagnum fuscum* Klinggr.) were collected on the oligotrophic bog "Bakcharskoye" (Bakcharsky district, Tomsk region, 56°26' N, 84°50' E) in September 2017. To assess the dynamics of the decomposition rate of plant substrates, a laboratory experiment was conducted from November 2017 to April 2018.

Methodology. The rate of decomposition (DecR, $\mu\text{g C} / \text{g of substrate} / \text{hour}$) of plant substrates of the main peat-forming plants was estimated in the 6-month laboratory experiment by the control of the CO_2 emission rate at 2, 12 and 22 °C. Humidity of plant samples corresponded to 90% of their water-holding capacity. Measurements of DecR were carried out 3-5 times per week during the 1-st month of the experiment and 1 times per week for the next 5 months. The effect of temperature on the DecR value was estimated using the temperature coefficient Q_{10} .

Main results. The highest CO_2 emission rate from all plant samples was recorded at 22 °C in the first 2-3 weeks of the experiment, whereas the maximum values of the CO_2 emission at 2 °C rate were observed only 1-2 weeks after the start of incubation of samples. *C. calyculata* demonstrated the most significant $\text{C}(\text{CO}_2)$ losses for the 6 months of the experiment at 22 °C whereas *E. vaginatum* - at 12 °C (21% and 23% of initial C content, respectively). The maximum values of the temperature coefficient Q_{10} were found for *E. vaginatum* in the temperature range of 2–12 °C, and for *C. calyculata* - in the range of 12–22 °C.

Conclusion. Temperature and type of plant material had a pronounced effect on the dynamics of DecR of prevalent peat-forming plants during the incubation experiment. Excepting *E. vaginatum*, all plant samples at a moisture of 90% of their water holding capacity were characterized by the highest total losses of C (CO_2) during the whole experiment at a temperature of 22 °C. *Sphagnum fuscum* showed the highest resistance to decomposition. The temperature coefficient Q_{10} also depended on the type of plant sample and the temperature range for which the measurement was performed.

Key words: oligotrophic peat soils; histosols; CO_2 emission rate; *Sphagnum fuscum*; *Chamaedaphne calyculata*; *Eriophorum vaginatum*; hydrothermal conditions; decomposition of organic matter

How to cite: Nikonova L.G., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Zhmurin V.A., Golovatskaya E.A. Estimate of temperature effect on the decomposition rate of peat-forming plants in a long-term laboratory experiment // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(4): 256-266 (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Vishnyakova E.K., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P. Decomposition dynamics of plants of bogs (data: Vasyugan bog), *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2012, No 7, p. 87-93. (in Russian)
2. Bambalov N.N. Transformation of dead plants in wetland biogeocenoses. In book: *Experiment and mathematical modeling in the study of biogeocenoses of forests and wetlands*. Moscow: Nauka Pbs., 1990, p. 53-63. (in Russian)
3. Boch M.S. Ecosystems of bogs of the USSR. Leningrad: Nauka Pbs., 1979, 188 p. (in Russian)
4. Golovatskaya E.A., Nikonova L.G. Decomposition of plant residues in peat soils of oligotrophic peatlands, *Tomsk State University Journal: Biology*, 2013, No3 (23), p. 137-151. (in Russian)
5. Golovatskaya E.A., Nikonova L.G. The influence of the bog water level on the transformation of sphagnum mosses in peat soils of oligotrophic bogs, *Eurasian Soil Science*, 2017, No 5, p. 580-588. doi: [10.1134/S1064229317030036](https://doi.org/10.1134/S1064229317030036)
6. Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., Piavchenko N.I. Dynamics of organic matter in the process of peat formation. Leningrad: Nauka LO Publ., 1978. (in Russian)
7. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Parshina E.K. Phytomass, production and decomposition of plant residues in oligotrophic bogs of the middle taiga of Western Siberia, *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2009, No3, p. 63-68. (in Russian)
8. Mishutin E.N. Microorganisms and productivity of agriculture, Moscow, Nauka Pbs., 1972, 245 p. (in Russian)

9. *Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K.* Production and destruction processes in peatland ecosystems of Vasyugan region, *Dinamika okruzhayushchey sredy i global'nye izmeneniya klimata (Environmental dynamics and global climate change)*, 2013, V. 4, No 1, p.1-9. (in Russian)
10. *Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Tereshhenko N.N.* The influence of bog waterlevels on the processes of transformation peat forming plants in peat soils of oligotrophic bogs. In book: *III Kovalev Youth Readings: Abstracts of the Russian Conference (Novosibirsk, September 26-30, 2016)*, Novosibirsk, 2016, p. 165-170. (in Russian)
11. *Tyuremnov S.N.* Peat deposits, Moscow, Nedra Pbs., 1976, 487p. (in Russian)
12. *Ananyeva N.D., Susyan E.A., Ryzhova I.M., Bocharnikova E.O., Stolnikova E.V.* Microbial biomass carbon and the microbial carbon dioxide production by soddy-podzolic soils in postagrogenic biogeocenoses and in native spruce forests of the southern taiga (Kostroma oblast), *Eurasian Soil Science*, 2009, No 42(9), p. 1029-1037.
13. *Berg B.* Decomposing litter; limit values; humus accumulation, locally and regionally, *Applied Soil Ecology*, 2018, V. 123, p. 494-508. doi: [10.1016/j.apsoil.2017.06.026](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.026)
14. *Chen H, Dong S, Liu L, Ma C, Zhang T, Zhu X, Mo J.* Effects of experimental nitrogen and phosphorus addition on litter decomposition in an old-growth tropical forest, *PLoS One*, 2013, No8(12), Article № e84101, p. 84-101. doi: [10.1371/journal.pone.0084101](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084101)
15. *Fierer N., Craine J.M., McLauchlan K., Schimel J.P.* Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition, *Ecology*, 2005, V. 86, Iss.2, p. 320–326. doi: [10.1890/04-1254](https://doi.org/10.1890/04-1254)
16. *Hajek T.* Habitat and species controls on Sphagnum production and decomposition in a mountain bog, *Boreal environmental research*, 2009, No 14, p. 947–958.
17. *Hogg E. H., Lieffers V. J., Wein R. W.* Potential Carbon losses from peat profiles: effects of temperature, drought cycles, and fire, *Ecological Applications*, 1992, V. 2, №3, p. 298-306. doi: [10.2307/1941863](https://doi.org/10.2307/1941863)
18. *Inisheva L.I., Szajdak L., Sergeeva M.A.* Dynamics of Biochemical Processes and Redox Conditions in Geochemically Linked Landscapes of Oligotrophic Bogs, *Eurasian Soil Science*, 2016, V. 49, No. 4, p. 466–474. doi: [10.1134/S1064229316040050](https://doi.org/10.1134/S1064229316040050)
19. *Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Gallardo Lancho J.F., Oehm C.T.* Evaluation of the rates of soil organic matter mineralization in forest ecosystems of temperate continental, Mediterranean, and tropical monsoon climates, *Eurasian Soil Science*, 2012, V. 45, No1, p. 68–79. doi: [10.1134/S1064229312010085](https://doi.org/10.1134/S1064229312010085)
20. *Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Natalia Galibina N., Kapitsa E., Shorohova E.* Coupled effect of temperature and mineral additions facilitates decay of aspen bark, *Geoderma*, 2018, No 316, p. 27–37. doi: [10.1016/j.geoderma.2017.12.014](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.014)
21. *Larionova A.A., Maltseva A.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kvitkina A.K., Bykhovets S.S., Zolotareva B.N., Kudryarov V.N.* Effect of temperature and moisture on the mineralization and humification of leaf litter in a model incubation experiment, *Eurasian Soil Science*, 2017, V.50, No4, p. 422-431. doi: [10.1134/S1064229317020089](https://doi.org/10.1134/S1064229317020089)
22. *Leroy F., Gogo S., Buttler A., Bragazza L., Laggoun-Défarge F.* Litter decomposition in peatlands is promoted by mixed plants, *Journal of Soils and Sediments*, 2018, No18(3), p.739-749. doi: [10.1007/s11368-017-1820-3](https://doi.org/10.1007/s11368-017-1820-3)
23. *Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Terechshenko N.N.* Decomposition rate of peat-forming plants in the oligotrophic peatland at the first stages of destruction, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2018, V. 138, No. 1, p. 012013. doi: [10.1088/1755-1315/138/1/012013](https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012013)
24. *Ozalp M., Conner W. H., Lockaby B. G.* Above-ground productivity and litter decomposition in a tidal freshwater forested wetland on Bull Island, SC, USA, *Forest Ecology and Management*, 2007, V. 245, No. 1-3, p. 31-43. doi: [10.1016/j.foreco.2007.03.063](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.063)
25. *Vos V, Van Ruijven J, Berg M, Peeters E, Berendse F* Leaf litter quality drives litter mixing effects through complementary resource use among detritivores, *Oecologia*, 2013, V.173, Iss.1, p. 269-280. doi: [10.1007/s00442-012-2588-1](https://doi.org/10.1007/s00442-012-2588-1)
26. *Zavarzin G. A., Kudryarov V. N.* Soil as the key source of carbonic acid and reservoir of organic carbon on the territory of Russia, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2006, V. 76, No 1, p.12-26. doi: [10.1134/S1019331606010035](https://doi.org/10.1134/S1019331606010035)
27. *Zhang L, Wang H., Zou J., Rogers W., Siemann E.* Non-native plant litter enhances soil carbon dioxide emissions in an invaded annual grassland, *PLoS one*, 2014, V.9, No3, Article No e9230. doi: [10.1371/journal.pone.0092301](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092301)

Received 05 November 2018; Accepted 24 December 2018;

Published 26 December 2018

About the authors:

Nikonova Liliya G. – Ph.D student, leading engineer in the Laboratory of Physics of Climatic Systems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); lili112358@mail.ru

Kurganova Irina N. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher in the Laboratory of soil cycles of nitrogen and carbon, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences (Pushchino town, Moscow region Russia); ikurg@mail.ru

Lopes de Gerenyu Valentin O. – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of soil cycles of nitrogen and carbon, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences (Pushchino town, Moscow region Russia); vlopes@mail.ru

Zhmurin Vasily A. – Ph.D student, junior researcher in the Laboratory of soil cycles of nitrogen and carbon, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences (Pushchino town, Moscow region Russia); zhmurin.vasya@mail.ru

Golovatskaya Eugenia A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, RAS, Deputy Director of the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); golovatskayaea@gmail.com

The authors read and approved the final manuscript



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

**О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ЛИМИТИРУЮЩИХ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ РОЛЬ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РОССИИ**

© 2018 М.Я. Войтехов

Адрес: Талдомская администрация особо охраняемых природных территорий, г. Талдом, Московская область, 141900, Шоссе Юркинское 2Б, Россия. E-mail: mihail-voytchov@yandex.ru

Цель исследования. Изучение факторов, лимитирующих наиболее массовых представителей разных экологических групп фауны дождевых червей Европейской части таежной зоны России (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*): *Dendrobaena octaedra*, *Lumbriscus rubellus*, *Aporrectodea caliginosa* (соответственно: эпигейные, эпигейно-эндогейные, эндогейные), по-разному участвующих в перемешивании минеральных и органических слоёв почвы.

Место и время проведения. Европейская часть таежной зоны России в период 2017-2018 гг.

Основные результаты. Рассмотрено влияние кислотности минеральной подпочвы и состава опада на их выживаемость и предпочтения. Для *D. octaedra*, не участвующего в перемешивании минеральных и органических слоёв почвы, лимитирующие факторы среди исследованного набора сочетаний свойств минеральной подпочвы и опада не выявлены. Для наиболее эффективного в педотурбациях *L. rubellus* лимитирующим фактором в ельниках является воздействие на их покровы химических свойств подстилки. *A. caliginosa* и *D. octaedra* не чувствительны к химическим раздражителям слоя F еловой подстилки. Субстраты, видимо, токсичные для покровов *L. rubellus*, пригодны для питания *D. octaedra*, но не *A. caliginosa*. Обогащённые содержащими карбонат копролитами червей продукты разложения опада ели, пихты, можжевельника, брусники, сфагнома используются *L. rubellus* для питания. Продукты разложения опада ели, обогащённого копролитами либо опадом листопадных пород, пригодны для питания *L. rubellus* и *A. caliginosa*. Продукты разложения опада сосны и кедра, в т.ч. обогащённые копролитами, не привлекательны в качестве источника питания *L. rubellus*.

Заключение. Высказаны предположения о том, что активное перемещение минеральных частиц на поверхность свежего опада является эволюционно выработанным типом поведения *L. rubellus*, ведущим к созданию пригодной для него среды (снижению кислотности подстилки и повышению скорости её разложения) и, что *L. rubellus* участвует в формировании грубогумусового и грубогумусированного горизонтов таежных почв. Однако разложение подстилки хвойных ускоряет подкисление минерального слоя почвы, что в дальнейшем ведёт к исключению из почвообразовательных процессов даже ограниченной вермопедотурбации. Из изученных видов к формируемой климаксовой таежной растительностью среде обитания наиболее приспособлен наименее эффективный в педотурбациях вид *D. octaedra*, а наиболее эффективный *L. rubellus* наименее приспособлен.

Ключевые слова: таёжная зона; дождевые черви; кислотность почвы; опад; подстилка; гумус; зоопедотурбации

Цитирование: Войтехов М.Я. О некоторых факторах, лимитирующих почвообразовательную роль дождевых червей в Европейской части таежной зоны России // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(4). С.267–276.

ВВЕДЕНИЕ

Продукция фитоценозов в таёжной зоне возрастает с севера на юг (Базилевич, 1993), а накопление подстилки и иммобилизация в ней элементов минерального питания имеет обратную тенденцию (Титлянова, Шибарева, 2012). Скорость разложения растительных остатков во многом определяет продуктивность лесных почв (Морозов, 1930; Стриганова, 1980). Среди биогенных факторов трансформации подстилки важная роль принадлежит дождевым червям (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*), обилие и разнообразие которых возрастает от тундры к подтайге и луговым степям (Безкоровайная, 2009; Тупов et al., 2006).

Наиболее интересные и подробные исследования роли дождевых червей в почвообразовании в таёжной зоне проводятся в Северной Америке, где ранее не было собственных видов дождевых червей, и их инвазии связывают с европейскими колонистами. В незаселённых дождевыми червями регионах Северной Америки гумус в лесах формируется только типов модер и мор (мы используем

здесь западноевропейско-американское толкование понятия «гумус» как органическое вещество почвы и подстилки), а после инвазии дождевых червей формируется муль, что иногда сопровождается повышением рН почвы с ~ 4,0 до ~ 7,0 (Addison, 2009).

В лесах, где население почвы сосредоточено в подстилке, органический материал, попавший на поверхность с опадом, распределяется по профилю почвы иначе, чем там, где беспозвоночные глубоко проникают в минеральные слои (Тиунов et al., 2006). Фауна дождевых червей европейской и сибирской частей таёжной зоны России существенно различается. Например, виды рода *Eisenia* могут достигать высокой численности и являться важным агентом переработки подстилки в хвойных лесах Сибири с травяным нижним ярусом (Рыбалов, 2003), а в Европейской части России эту нишу занимают другие виды.

Одним из основных непосредственных источников питания дождевых червей является мицелий почвенных грибов. Причём разные виды грибов могут быть съедобны либо несъедобны для червей (Бызов, 2005). Кроме того, активность дождевых червей способна влиять на состав миксоценозов (Bohlen et al., 2004), также являющихся важным компонентом системы почвенных гетеротрофов.

Питание, роющая деятельность и копролиты дождевых червей могут определять динамику роста и проникновения корней сквозь почву, агрегацию, пористость и количество подстилки на поверхности почвы. Микробные сообщества почвы способны переваривать практически любой органический субстрат, хотя большую часть времени находятся в «спящем» состоянии, потому что нуждаются в усвояемых пищевых ресурсах, но имеют ограниченную возможность перемещения, чтобы добраться до этих ресурсов. В кишечнике дождевых червей микробная активность повышается с помощью системы мутуалистического пищеварения между дождевыми червями и почвенными микроорганизмами, где оба формируют «общую эксплуатацию для общей цели», способствуя лучшему использованию перевариваемых ресурсов почвенной органики (Lavelle, 2007). Кроме кишечника важным средообразующим фактором дождевых червей является кожная слизь, при производстве которой черви могут потерять углерода, возможно, даже больше, чем при дыхании (некоторые виды до 2/3). Расходы червями углерода и азота на слизь могут составлять несколько тонн/га/год. В дополнение к секреции слизи, к стенкам нор и/или копролитов также добавляется экскреция азота из тела дождевых червей (в основном в виде мочевины и аммиака). Корни растений следуют норам как преимущественно лёгким путям удлинения, и польза для них не только в улучшении аэрации и газообмена, но также в питательных настенных покровах, особенно если они проникают глубоко в почву (Brown et al., 2000).

Однако, как заметил А.В. Тиунов (2007, с.37), «средообразующая деятельность почвенных животных, прежде всего дождевых червей, с одной стороны, относительно хорошо исследована, и постулируется, что она в значительной степени определяет динамику почвенных процессов. Это отражается в выделении среди почвенной биоты функционального блока средообразователей, к которому сейчас принято относить всех крупных почвенных сапрофагов. С другой стороны, средообразующая деятельность почвенных животных неизменно выпадает из рассмотрения при построении количественных моделей ключевых почвенных процессов, например динамики деструкции органического вещества».

«Дождевые черви являются типичными представителями функциональной группы средообразователей или «экосистемных инженеров», прямой вклад которых в метаболизм (дыхание) почвенного сообщества относительно невелик ..., а основная экологическая роль состоит в модификации среды обитания других компонентов почвенной биоты Однако системное количественное описание закономерностей и механизмов влияния средообразующей деятельности дождевых червей и других крупных почвенных беспозвоночных на функционирование отдельных групп и всего комплекса почвенной биоты остаётся в зачаточном состоянии» (Тиунов, 2007, с.1).

За более чем десятилетие, прошедшее после опубликования приведённых выше строк, ситуация с изучением участия дождевых червей в почвообразовании мало изменилась. Исследования почвоведов и почвенных зоологов часто носят параллельный, не связанный друг с другом характер.

В естественных европейских таёжных ландшафтах повсеместно представлены эпигейные (подстилочные) виды дождевых червей, а представители других экологических групп более распространены в интразональных (пойменных, аграрных) ландшафтах или участках серийных стадий сукцессии (Тиунов et al., 2006, Крылова, 2011, Акулова и др., 2017), некоторые эндогейные виды могут переходить к эпигейному образу жизни (Крылова, 2011), и об их участии в почвообразовательных процессах в таёжных ландшафтах мало данных.

Целью наших экспериментов было изучение в стандартизированных модельных условиях влияния кислотности минерального субстрата и состава опада на активность наиболее массовых представителей разных экологических групп дождевых червей характерных для Европейской части таёжной зоны России. Отдельно были поставлены задачи по выявлению факторов лимитирующих активность дождевых червей (прежде всего, в характерных для завершающих стадий сукцессии мертвопокровных и кустарничковых хвойных насаждениях), а так же проверка ряда опубликованных полевых наблюдений, где однородность условий сложно контролировать (например, разлагающиеся плодовые тела грибов и фекалии животных (в т.ч. мелких) оказывают существенное узколокальное влияние на почвенный метаболизм и на распределение червей, но в полевых условиях визуально выявить наличие подобных явлений можно лишь в первые дни/недели, а их эффекты более длительные).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование состояло из опытов двух типов: 1) длительных (4,5 месяца) в больших лотках, где червям предлагался выбор разных видов опада на фоне нейтрального или кислого минерального субстрата с определением предпочтений; 2) краткосрочных (как правило, до 1 месяца) в сосудах меньшего размера, в ходе которых проверялась, прежде всего, выживаемость червей в разных средах. Все использованные в экспериментах черви были собраны в парках г. Москвы.

В опыте первого типа на дно прозрачных пластиковых лотков размером 22x12 см был насыпан слой 6–7 см субстрата – карбонатная московская морена с глубины ~ 2 м (преобладает суглинок, отсутствуют остатки корней). В одной серии опыта использован субстрат естественной морены с рН 6,9–7,0 (здесь и далее измерялся рН почвенной суспензии (Химический ..., 1998). Поскольку нейтральная среда мало характерна для таёжной зоны, во второй серии опыта использовали материал той же морены, промытый уксусной кислотой в течение 10 дней, затем отмытый в течение 4 дней дождевой водой, при этом кислотность среды достигла рН 5,1–5,2 (первые порции фильтрата при промывке содержали большое количество коллоидов, однако цвет субстрата не изменился, это даёт основание предположить, что результат обработки соответствует элювиальной, не достигшей стадии обеднения подзолистой почве (Полевой ..., 2008)). Использование естественного и модифицированного субстрата морены позволило обеспечить однородный гранулометрический состав и избежать неодинаковой реакции червей на возможные его различия. На поверхности субстрата в пластиковые кольца-ячейки диаметром 6 см и высотой 4 см заглублённые на 4–5 мм были помещены образцы свежего опада таёжных растений, известных своей устойчивостью к разложению: сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*, кедра *P. sibirica*, ели европейской *Picea abies*, брусники *Vaccinium vitis-idaea*, сфагнома *Sphagnum centrale*, а так же таёжных видов хвойных, об устойчивости которых к разложению мало сведений: пихты *Abies* sp., можжевельника *Juniperus communis* (рис.1). Чтобы исключить возможные различия условий начальных стадий разложения опада, связанные с неконтролируемыми локальными факторами, образцы брали с веток деревьев – пожухлую хвою сосны, кедра, пихты, можжевельника, чернеющие листья брусники. У ели кроме пожухлой хвои собирали легко отделявшиеся от веток хвоинки возрастом 5–6 лет. В качестве образцов сфагнома использовали свежие побеги. До закладки в лотки образцы опада хранились в бумажных пакетах при комнатной температуре и высохли до воздушно-сухого состояния. Поскольку мезо- и микрофауна влияют на состав микробоценозов (Бызов, 2005), а метод сбора и хранения образцов исключает присутствие в них комплекса почвенной микро- и мезофауны, на поверхность образцов опада, для приближения условий его разложения к естественным, в лотки помещали на пять дней в сетчатых мешках подстилку сосняка бруснично-зеленомошного. В лотках поддерживалась влажность субстрата, близкая к полной капиллярной.



Рисунок 1. Лоток с разными видами опада (можжевельник, кедр, пихта, ель, сфагнум, брусника, сосна) в начале эксперимента (А) и конце 4,5-месячного эксперимента (Б)

Через 15 дней после закладки в ячейки образцов опада (к этому времени на всех появился налет мицелия грибов) в лотки поместили по 12 экземпляров видов червей, типичных для среднетаёжной и северотаёжной подзон Европейской части России – *Dendrobaena octaedra* либо *Lumbriscus rubellus* (наиболее массовые представители, соответственно, эпигейной и эпигейно-эндогейной экологических групп) (Тупов et al., 2006, Крылова, 2011, Акулова и др., 2017). Все варианты проведены в двух повторностях: по 2 лотка с каждым видом червя на нейтральной или на подкисленном субстрате морены (всего 8 лотков).

Поскольку *L. rubellus* на подкисленном субстрате погибли в первые дни длительного эксперимента, были проведены дополнительные кратковременные опыты.

В варианте на подкисленном субстрате, в тех же лотках, где погибли *L. rubellus*, из ячеек удалили хвою сосны и на её место поместили опад берёзы, а 15 дней спустя в эти ячейки поместили по 8 экземпляров *L. rubellus*.

Возможное влияние обработки субстрата морены уксусной кислотой на жизнеспособность *L. rubellus* проверили в отдельных сосудах диаметром 8 см, в которые поместили опад хвои ели и сосны поверх естественной минеральной подпочвы (элювиальной языковатой из-под ельника чернично-зеленомошного, pH 5,0–5,1) приблизительно того же гранулометрического состава.

В сосудах диаметром 8 см исследовали выживаемость *L. rubellus* на естественно подкисленной морене из-под ельника чернично-зеленомошного, pH 5,0–5,1, поверх которой помещали слой подстилки 4–4,5 см из различных природных биотопов: черноольхово-берёзово-соснового торфа с экотона черноольшаника и сфагнового болота (pH 4,8); подстилки ельника низкотравного на неоподзоленной морене (в месте сбора слой подстилки 4,5–5 см, pH 6,3), из слоёв F и H подстилки ельника мертвопокровно-зеленомошного (парцеллы *Dicranum polysetum* 20–25% площади), растущего на более влажном участке той же морены (в месте сбора слой подстилки 14–15 см, образцы брали с глубины 2–3 и 5–8 см, соответственно, pH 4,8 в обоих слоях) и с глубины 10–12 см (pH 5,4, возможно, этот слой гумуса формировался, когда ельник находился в другой стадии сукцессии, с иным составом растительности), а также елового опада (собранного по той же методике, что и при использовании в длительном опыте), увлажнённого и колонизируемого грибами в течение 30 и 45 дней. В каждый сосуд помещалось по 3–4 червя. Выживание червей проверяли по окончании срока наблюдений 1 месяц при промывке содержимого опытных сосудов (были обнаружены живыми или все помещённые в сосуд черви, или на одного меньше, (т.е. выживало более половины), либо гибли все; результат оценивался как «+» (выживание) или «-» (гибель). В случаях гибели червей дополнительно проводились наблюдения их поведения в слое 4–5 мм подстилки или колонизируемого грибами опада ели без подстилающего минерального субстрата.

В вариантах кратковременных экспериментов, где наблюдалась гибель *L. rubellus*, для сравнения в те же условия помещались черви наиболее массового вида эндогейной экологической группы *Aporrectodea caliginosa* (вид заходит на плакоры юга среднетаёжной подзоны (Крылова, 2011, Акулова и др., 2017). Поскольку *A. caliginosa* оказались более толерантны к подстилке хвойных, чем *L. rubellus*, дополнительно была исследована их реакция и на свежий (ещё не подвергшийся колонизации грибами) опад ели. Поскольку у *A. caliginosa* была подтверждена ранее описанная в литературе (Жизнь животных, 1987) поведенческая адаптация к выживанию в узколокальных благоприятных местообитаниях (комочке «берёзового гумуса», размер которого существенно меньше длины червя) среди обширного неблагоприятного субстрата (свежий опад ели), в тех же условиях проведено исследование по определению наличия такой же адаптации и у *L. rubellus*.

Также изучен выброс копролитов *L. rubellus* и *A. caliginosa*, помещённых в сосуды с опадом ели поверх нейтрального субстрата.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В лотках с мореной нейтральной реакции среды *L. rubellus* с первых дней опыта зарывались в субстрат на глубину до 4 см под ячейками с опадом можжевельника, пихты, ели и брусники (наблюдаемые сквозь стенки лотков ходы червей сохранялись одну-две недели, затем заплывали). Также происходило активное перемещение частиц субстрата на поверхность опада – через 2 недели поверхность всех образцов опада покрылась минеральными частицами (рис. 2). На второй-третий месяцы ходы червей были видны и под ячейками со сфагнумом. На четвёртый месяц наблюдений заметно снизилась активность червей под ячейками с можжевельником (возможно, это связано с тем, что опад в этих ячейках наиболее заметно разложился), а под сфагнумом ходы исчезли. Под ячейками

с опадом сосны и кедра роющая активность *L. rubellus* практически отсутствовала (на четвёртый месяц наблюдений в одном из лотков под образцом кедра был отмечен единичный ход на глубине 5–6 мм, возможно, транзитный, поскольку после его заплывания активность червей здесь больше не проявлялась). В одном из лотков произошло размножение червей: в конце опыта был обнаружен экземпляр длиной около 2 см (исходно помещены черви длиной 5–7 см).



Рисунок 2. Перемещение четырьмя экземплярами *L. rubellus* минерального слоя в слой еловой хвои за 5 месяцев наблюдений (диаметр сосуда 8 см): до начала опыта (А) и 5 месяцев спустя (Б)

В лотках с подкисленной мореной первые 4–5 часов *L. rubellus* беспokoйно перемещались по всей поверхности опада и открытого субстрата между ячейками, затем стали малоподвижны. Черви, которых снижение подвижности застало на поверхности опада (в наблюдаемых случаях – елового или кедрового), погибали сразу, а прекратившие активность на голой поверхности грунта реагировали сокращениями на прикосновения в течение 25–30 часов. Дополнительный эксперимент в отдельных сосудах с использованием хвои ели и сосны и естественной минеральной подпочвы приблизительно того же гранулометрического состава из-под ельника чернично-зеленомошного, pH 5,0–5,1, дал те же результаты, следовательно, обработка уксусом морены не явилась фактором, приведшим к гибели червей. При замене в тех же лотках хвои сосны на опад берёзы и посадке в эти ячейки через 15 дней по 8 экземпляров *L. rubellus*, в течение 1 месяца наблюдения в ячейках с берёзовым опадом по 4–5 червей остались живы (остальные расплозились и также погибли), при этом они не проявляли активности по перемещению минеральных частиц на поверхность берёзового опада.

D. octaedra ни в одном варианте не проявляли роющей активности в минеральном слое и не перемещали частицы минерального субстрата на поверхность опада. На третий-четвёртый месяц эксперимента в варианте с мореной нейтральной реакции среды появились полости вдоль границы минерального слоя и опада можжевельника, пихты, ели и брусники. Наличие в лотках живых червей контролировали путём нанесения на поверхности субстрата между ячейками царапин, которые спустя один или несколько дней оказывались пересечены свежими следами червей.

За время наблюдений (4,5 месяца) в верхнем 1,5 см минеральном слое (ниже слоя перемешанных с субстратом остатков опада) в лотках с естественным мореным материалом с обоими видами червей под ячейками с опадом кедра, пихты, ели и сосны достоверных изменений кислотности не произошло, под опадом брусники и сфагнома произошло подкисление до pH 6,8, под опадом можжевельника в лотках, в которых находились *D. octaedra*, – до pH 6,8, в лотках с *L. rubellus* – до pH 6,7. Наибольшее подкисление среды под можжевельником соответствует визуально оцениваемому наибольшему, по сравнению с другими видами, разложению опада можжевельника.

При исследовании выживаемости *L. rubellus* в подстилках различного происхождения в отдельных сосудах диаметром 8 см поверх минеральной подпочвы из-под ельника чернично-зеленомошного (pH 5,0–5,1), черви проявляли активность на протяжении одного месяца наблюдений в черноольхово-берёзово-сосновом торфе с экотона черноольшаника и сфагнового болота (pH 4,8), подстилке ельника низкотравного на неоподзоленной морене (pH 6,3), но погибли в течение 2–3 суток в слоях F и H подстилки ельника мертвопокровно-зеленомошного с глубины 2–3 и 5–8 см, соответственно (pH 4,8 в обоих слоях). При изучении гибели червей в слое 4–5 мм подстилки из горизонтов F и H ельника мертвопокровно-зеленомошного без подстилающего минерального грунта, хотя черви не проявляли видимого беспокойства и зарывались под подстилку, в течение первых 20–30 часов они постепенно теряли подвижность (становились

«флегматичными», подобно *A. caliginosa*), снижалась интенсивность их окраски (рис.3). Если в первые 30–35 часов их переносили на морену с нейтральной реакцией среды, через несколько часов возвращались их окраска и активность. В более поздние сроки черви, хотя реагировали сокращениями на прикосновения, не возвращались к нормальному состоянию при перемещении в нейтральную среду. Еще один эксперимент показал, что "беспокойная" реакция *L. rubellus* отмечается при помещении их в опад в течение одного месяца после его смачивания и потенциального начала колонизации грибами, а через полтора месяца черви реагируют на переходящий в стадию ферментации еловый опад спокойно.



Рисунок 3. Наблюдение за выживанием червей в слое 4-5 мм горизонта F подстилки без подстилающего минерального субстрата

В тех же образцах F и H подстилки ельника мертвопокровно-зеленомошного эндогеинные черви *Aporrectodea caliginosa* выживали при температуре 20°C 7–9 дней, затем погибали. По-видимому, от голода (на 3-й день наблюдений их пищеварительный тракт выглядел пустым), либо дефицита поступающих с пищей определённых компонентов минерального питания. Однако если им на 5-й день предлагали гумифицированный берёзовый опад, начинали питаться и не погибали (срок наблюдения 10 дней после добавления гумифицированного берёзового опада). При помещении в свежий опад ели *A. caliginosa* погибали, но если добавить на него комочек (3–4 мл) «берёзового гумуса», концентрировались в нём, а спустя две недели начинали мигрировать без вреда для себя в толще хвои ели с признаками начала колонизации грибами. *L. rubellus* в таких условиях продолжали активно перемещаться по всему субстрату и гибли. Также *L. rubellus* выживали до 12 дней, а *A. caliginosa* нормально питались в слое H, взятом в том же ельнике с глубины 10–12 см (pH 5,4). При помещении в сосуды с моренным субстратом с нейтральной реакцией среды, не содержащим органических остатков, поверх которой насыпан слой хвои ели, *A. caliginosa* выживали месяц (срок наблюдений). Было отмечено, что они находились в минеральном горизонте и выносили копролиты примерно на границу минерального и органического слоев, а не на поверхность или в толщу слоя хвои, как это делали *L. rubellus*, которые также иногда длительно присутствовали в слое смешанного с минеральными частицами елового опада. Если в сосудах слой опада был не 2–2,5 см, как в длительном эксперименте с большими лотками, а 4–4,5 см, *L. rubellus* массово выносили копролиты только в нижние 2–2,5 см опада, а выше этого уровня отмечался только редкий вынос минерального материала. Имеются пока статистически недостаточно подтвержденные наблюдения, что высота, на которую *L. rubellus* выносят копролиты над минеральным слоем, т.е. в слой подстилки, пропорциональна размеру червей. В одном сосуде диаметром 8 см, куда были помещены 3 экземпляра *L. rubellus* размером 3–4 см в течение месяца копролиты отмечались в слое опада 1–1,5 см, а после посадки в тот же сосуд экземпляра *L. rubellus* размером 6 см, через два дня отмечены копролиты до 2,5 см выше минерального слоя. Эксперимент с этим сосудом был продолжен в течение пяти месяцев, и за этот срок черви переместили в подстилку 8–9 мм слоя минерального субстрата, и к концу этого срока их активность переместилась в основном в слой хвои, обогащенный минеральными частицами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты эксперимента в контролируемых модельных условиях подтверждают литературные полевые данные, что деятельность дождевых червей ниже в кислых и выше в богатых кальцием почвах (Reich et al., 2005).

Эпигейный вид *D. octaedra* способен только к ранее известной активности в слое подстилки (Tiunov et al., 2006, Addison, 2009) и не проявляет ограниченного участия в педотурбациях даже на почвах с нейтральной реакцией среды.

Педотурбации *L. rubellus* отмечены нами только при нейтральной реакции подстиляющего минерального слоя. Очевидно, что хотя в опаде использованных в эксперименте таёжных растений (ели, пихты, можжевельника, брусники, сфагнома) могут развиваться пригодные для питания *L. rubellus* сапрофитные организмы, известное из литературы (см., напр.: Сајандер, 1926, а также более поздние работы разных авторов) подкисляющее влияние опада самих хвойных на минеральные слои почвы в дальнейшем должно вести к исключению из почвообразовательных процессов даже ограниченной вермопедотурбации. При слабокислой реакции подстиляющего минерального слоя в пригодной для жизни подстилке *L. rubellus* ведёт себя как чисто эпигейный вид.

Эпигейно-эндогейный вид *L. rubellus* в наших экспериментах без вреда для себя контактирует со свежим опадом хвойных, брусники и сфагнома при нейтральной реакции подстиляющего минерального слоя, не способен выжить в опаде этих растений на среднекислых элювиальных почвах (подобная тенденция сохраняется и в гумусированном опаде ели), но выживает на среднекислых почвах при значительном участии опада листопадных видов (в т.ч. когда гумифицированный опад имеет слабокислую реакцию – pH 4,8).

Эндогейный вид *A. caliginosa* демонстрирует подобное поведение. По литературным данным (Крылова, 2011; Акулова и др., 2017), у более многочисленного в среднетаёжной подзоне Республике Коми и поэтому статистически более изученного вида же рода *A. rosea* подобная тенденция более выражена. Это и другие отмеченные Л.П. Крыловой с соавторами и Л.И. Акуловой с соавторами особенности распространения *A. rosea* позволяют предположить, что основным лимитирующим фактором распространения и *A. caliginosa* у северной границы ареала является температурный.

Очевидно, на опаде видов рода *Pinus* (сосны и кедра) не развиваются пригодные для питания *L. rubellus* сапрофитные организмы. Наши наблюдения косвенно подтверждают данные Reich et al. (2005) о большей общей биомассе червей под елью, чем под сосной, но не совпадают с данными И.Н. Безкоровой (2009) о более быстром вовлечении в биологическую трансформацию хвои сосны, чем хвои ели. Возможно, в этих процессах по-разному участвуют различные виды червей и/или, в целом, группы беспозвоночных, к сожалению, в обеих работах при сравнении биомассы червей в разных типах леса не указаны виды червей. В естественных условиях, по всей вероятности, на таком опаде развиваются эктомикоризные грибы, пригодные для их питания, но выяснить это в условиях модельных экспериментов не представляется возможным, поскольку характерные для хвойных лесов эктомикоризные виды грибов, за редким исключением, облигатные мутуалисты, не культивируемые в искусственных условиях (Molina, Horton, 2015).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из изученных видов *D. octaedra*, наименее эффективный в педотурбациях, оказался наиболее приспособлен к формируемой климаксовой таёжной растительностью среде обитания. Наиболее эффективный *L. rubellus* – наименее приспособлен.

Для *L. rubellus* лимитирующим фактором в ельниках являются воздействие на их покровы химических свойств подстилки. *A. caliginosa* и *D. octaedra* не чувствительны к химическим раздражителям слоя F еловой подстилки. Субстраты, очевидно, токсичные для покровов *L. rubellus*, пригодны для питания *D. octaedra*, но не *A. caliginosa*. Продукты разложения опада ели, обогащенного содержащими карбонаты копролитами червей, либо опадом листопадных пород, (или питающиеся этими субстратами микроорганизмы) пригодны для питания *L. rubellus* и *A. caliginosa*.

Дополнительным фактором, оказывающим неблагоприятное влияние на выживаемость *L. rubellus* в хвойных лесах, возможно, является его высокая подвижность и неспособность переживать временные неблагоприятные условия в узлокальных местообитаниях, что отличает его от *A. caliginosa*, для которого в неблагоприятные периоды характерно впадение в оцепенения в свёрнутом в клубок состоянии (Жизнь животных, 1987) в небольших по объёму участках (намного меньше их собственной длины). *L. rubellus* способен сохраняться в локалитетах не менее его собственной длины, сохраняя при этом некоторую поисковую активность.

L. rubellus может переносить минеральные частицы в подстилку по крайней мере с глубины 4 см минерального горизонта (в периоды зимних диапауз и засух он перемещается глубже, однако при этом прекращается его связь с подстилкой). Но, в отличие от широко описанной активности

имеющего более южный ареал *Lumbriscus terrestris*, направленной на перемещение органических остатков с поверхности вглубь минерального слоя, активность *L. rubellus* в основном направлена на перемещение минеральных частиц в/на подстилку.

Можно предположить, что: а) активное перемещение минеральных частиц на поверхность свежего опада является эволюционно-выработанным типом поведения червей, ведущим к созданию пригодной для его жизнедеятельности среды (снижению кислотности подстилки и повышению скорости её разложения); б) *L. rubellus* участвует в формировании грубогумусового и грубогумусированного горизонтов (Полевой ..., 2008) таёжных почв.

Пример с можжевельником даёт основание предположить, что интенсификация разложения опада хвойных эпигейно-эндогейными дождевыми червями ускоряет подкисление подстилающих минеральных горизонтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулова Л.И., Долгин М.М., Колесникова А.А. Распространение и численность дождевых червей (*Lumbricidae*) в подзоне северной тайги Республики Коми // *Вестник Института Биологии Коми НЦ УрО РАН*. 2017. № 1. С. 4–16.
2. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука. 1993. 293 с.
3. Безкоровайная И.Н. Роль почвенных беспозвоночных в деструкции органического вещества лесных экосистем енисейского меридиана Автореферат дисс. ... докт. биол. наук. Красноярск, 2009. 44 с.
4. Бызов Б.А. Зоомикробные взаимодействия в почве. М.: ГЕОС, 2005. 213 с.
5. Жизнь животных. В 7 т. / Гл. ред. В.Е. Соколов. Т. 1. Простейшие. Плоские черви. Губки. Кишечнополостные. Гребневики. Плоские черви. Немертвины. Круглые черви. Кольчатые черви. Щупальцевые / Под ред. Ю.И. Полянского. 2-е изд., перераб. М.: Просвещение, 1987. 448 с.
6. Крылова Л.П., Акулова Л.И., Долгин М.М. Дождевые черви (*Oligochaeta, Lumbricidae*) таежной зоны Республики Коми. Сыктывкар: Коми гос. пед. ин-т, 2011. 104 с.
7. Морозов Г.Ф. Учение о лесе / Изд. 5-е, под ред. В.В. Матренинского. М., Л., 1930. 440 с.
8. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
9. Рыбалов Л.Е. Эколого-фаунистическая характеристика почвенного населения трёх бореальных регионов России // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. В 2 кн. Кн. 2 / А.С. Исаев (ред.). Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. М.: КМК, 2013. Глава 20. С. 277–295.
10. Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. М.: Наука, 1980. 243 с.
11. Титлянова А.А., Шибарева С.В. Подстилки в лесных и травяных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 137 с.
12. Тиунов А.В. Метабиоз в почвенной системе: влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Москва, 2007. 44 с.
13. Химический анализ почв / Под ред. Воробьевой Л.А. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
14. Addison J.A. Distribution and impacts of invasive earthworms in Canadian forest ecosystems // *Biol. Invasions*. 2009. V.11. Iss.1. P. 59–79. doi: [10.1007/s10530-008-9320-4](https://doi.org/10.1007/s10530-008-9320-4)
15. Bohlen P.J., Scheu S., Hale C.M., McLean M.A., Migge S., Groffman P.M., Parkinson D. Non-native invasive earthworms as agents of change in northern temperate forests // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2004. V. 2. No8. P. 427–435. doi: [10.2307/3868431](https://doi.org/10.2307/3868431)
16. Brown G.G., Barois I., Lavelle P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains // *Eur. J. Soil Biol.* 2000. V. 36. Iss. 3-4. P. 177–198. doi: [10.1016/S1164-5563\(00\)01062-1](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(00)01062-1)
17. Cajander A.K. The theory of forest types // *Acta For Fenn.* 1926. V. 29. Iss.3. P.1–108.
18. Lavelle P. Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function // *Advances in Ecological Research*. 2007. V. 27. P. 93–132. doi: [10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0)
19. Molina R., Horton T.R. Mycorrhiza Specificity: Its Role in the Development and Function of Common Mycelial Networks. In book: Horton T. (eds.) *Mycorrhizal Networks. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. V. 224. Springer, Dordrecht. 2015. doi: [10.1007/978-94-017-7395-9_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7395-9_1)
20. Reich P.B., Oleskyn J., Modrzyński J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D., Chorover J., Chadwick O.A., Hale C.M., Tjoelker M.G. Linking litter calcium, earthworms, and soil properties: a common garden test with 14 tree species // *Ecol. Lett.* 2005. V.8. Iss. 8. P. 811–818. doi: [10.1111/j.1461-0248.2005.00779.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00779.x)
21. Tiunov A.V., Hale C.M., Holdsworth A.R., Vsevolodova-Perel T.S. Invasion patterns of *Lumbricidae* into the previously earthworm-free areas of northeastern Europe and the western Great Lakes region of North America // *Biol. Invasions*. 2006. V.8. Iss.6. P. 1223–1234. doi: [10.1007/s10530-006-9018-4](https://doi.org/10.1007/s10530-006-9018-4)

Поступила в редакцию 02.11.2018
 принята 12.12.2018
 опубликована 26.12.2018

Сведения об авторе:

Войтехов Михаил Ярославович – сотрудник Талдомской администрации особо охраняемых природных территорий (г.Талдом, Московская область, Россия); mihail-voytehov@yandex.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/)

FACTORS LIMITING THE PARTICIPATION OF THE COMMON EUROPEAN EARTHWORM SPECIES (*OLIGOCHAETA*, *LUMBRICIDAE*) IN SOIL-FORMING PROCESSES

© 2018 M.Ya. Voytekhov

Address: Taldom Local Administration for Nature Reserve, Taldom town, Moscow region, Russia.

E-mail: mihail-voytehov@yandex.ru

The aim of the study: *In order to study the factors limiting soil-forming activity of various earthworm species most common for the European part of the taiga zone of Russia.*

Location and time of the study. *The study was conducted, in the period 2017-2018 in the European part of Russia.*

Methodology. *Model experiments in standardized laboratory conditions were carried out in plastic trays to examine the influence of mineral subsoil acidity and plant litter composition on the survival and preferences of representatives of different ecological groups of earthworms (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*): *Dendrobaena octaedra*, *Lumbriscus rubellus*, *Aporrectodea caliginosa* (epigeic, epigeic-endogeic and endogenic, respectively), differently involved in mixing of soil mineral and organic layers.*

Main results. *For *D. octaedra*, which is not involved in the mixing of soil layers, the limiting factors (among the studied combinationst of mineral subsoil and litter properties) were not revealed. For *L. rubellus*, the most pedoturbation-effective of the studied species, the effect of litter chemistry on their integument was found to be the limiting factor in spruce forests. The *A. caliginosa* and *D. octaedra* were not sensitive to the chemical stimuli of the spruce litter F-layer. The substrates, which were apparently toxic for *L. rubellus*, were found to be suitable for *D. octaedra*, but not for *A. caliginosa* nutrition. *L. rubellus* was shown to useas food decomposition products of spruce, fir, juniper, cowberry, moss (*Sphagnum*) litter, enriched with carbonate-containing coprolites. The decomposition products of spruce litter, also enriched in coprolites, or in deciduous tree litter, were suitable for consumption by *L. rubellus* and *A. caliginosa*. The decomposition products of pine and cedar litter, including those enriched in coprolites, were not attractive as a food source for *L. rubellus*.*

Conclusion. *It was concluded that active relocation of mineral particles to the fresh litter surface is an evolutionarily developed type of *L. rubellus* behavior, leading to decreased litter acidity and increased decomposition rate, and that *L. rubellus* participates in the formation of coarse-humus soils. However, the decomposition of coniferous litter accelerates acidification of mineral soil layers, precluding even limited vermopedoturbation from soil-forming processes. Among the studied earthworm species *D. octaedra* (the least effective n pedoturbation) is the most fit to the habitat formed by climax taiga vegetation, whereas the most effective *L. rubellus* is the least fit.*

Key words: *taiga zone; earthworms; soil acidity; plant litter; forest floor; humus; zoopedoturbation*

How to cite: *Voytekhov M.Ya. Factors limiting the participation of the common European earthworm species (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) in soil-forming processes // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(4): 267-276. (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Akulova L.I., Dolgin M.M., Kolesnikova A.A. Distribution and abundance of earthworms (*Lumbricidae*) in middle taiga of the Komi Republic, *Vestnik IB Komi NC UrO RAN*, 2017, No 1, p. 4-16. (in Russian)
2. Bazilevich N.I. Biological productivity of Northern Eurasia ecosystems. Moscow: Nauka Pbs., 1993, 293 p. (in Russian)
3. Bezkorovajnyaya I.N. The role of soil invertebrates in the organic matter destruction of the Yenisei Meridian forest ecosystems. *Abstract of Dissertation ... Doctor of Biological Sciences in Biology, Krasnoyarsk*, 2009, 44 p. (in Russian)

4. *Byzov B.A.* (Zoo-microbial interactions in soil. Moscow: GEOS, 2005. 213 p. (in Russian)
5. *Animal life*. V.1. Protozoa. Flatworms. Sponges. Coelenterata. Ctenophora. Flatworms. Nemertins. Roundworms. Annelids. Tentacles / Yu.I Polyanskii (ed.). Moscow: Prosveshhenie Pbs., 1987, 448 p. (in Russian)
6. *Krylova L.P., Akulova L.I., Dolgin M.M.* Earthworms (*Oligochaeta, Lumbricidae*) of the Komi Republic taiga zone. Syktyvkar: KGPI Pbs., 2011, 104 p. (in Russian)
7. *Morozov G.F.* The doctrine of the forest. Moscow, Leningrad, 1930, 440 p. (in Russian)
8. *Field guide for Russian soil*. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p. (in Russian)
9. *Rybalov L.E.* Ecological and faunistic characteristics of the soil population of the three boreal regions of Russia // *Diversity and dynamics of forest ecosystems of Russia*. In 2 books. Vol. 2 / A.S. Isaev (ed.). Moscow: KMK Pbs., 2013. Chapter 20, p. 277–295. (in Russian)
10. *Striganova B.R.* Nutrition of soil saprophages. Moscow: Nauka Pbs, 1980, 243 p. (in Russian)
11. *Titlyanova A.A., Shibareva S.V.* Litter in forest and grass ecosystems. Novosibirsk: Izdatelstvo SO RAN, 2012, 137 p. (in Russian)
12. *Tiunov A.V.* Metabiosis in the soil system: the earthworms influence on the structure and functioning of soil biota, *Abstract of Dissertation ... Doctor of Biological Sciences in Biology, Moscow, 2007, 44 p.* (in Russian)
13. *Chemical analysis of soils / Vorob'yova L.A.* (ed.). Moscow: MGU Pbs., 1998. 272 p. (in Russian)
14. *Addison J.A.* Distribution and impacts of invasive earthworms in Canadian forest ecosystems, *Biol. Invasions*. 2009, V.11, Iss.1, p. 59–79. doi: [10.1007/s10530-008-9320-4](https://doi.org/10.1007/s10530-008-9320-4)
15. *Bohlen P.J., Scheu S., Hale C.M., McLean M.A., Migge S., Groffman P.M., Parkinson D.* Non-native invasive earthworms as agents of change in northern temperate forests, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004, V. 2, No8, p. 427–435. doi: [10.2307/3868431](https://doi.org/10.2307/3868431)
16. *Brown G.G., Barois I., Lavelle P.* Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains, *Eur. J. Soil Biol.*, 2000, V. 36, Iss. 3–4, p. 177–198. doi: [10.1016/S1164-5563\(00\)01062-1](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(00)01062-1)
17. *Cajander A.K.* The theory of forest types, *Acta For Fenn.*, 1926, V. 29, Iss.3, p.1–108.
18. *Lavelle P.* Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function, *Advances in Ecological Research*, 2007, V. 27, p. 93–132. doi: [10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0)
19. *Molina R., Horton T.R.* Mycorrhiza Specificity: Its Role in the Development and Function of Common Mycelial Networks. In book: *Horton T. (eds.) Mycorrhizal Networks. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. V. 224. Springer, Dordrecht. 2015. doi [10.1007/978-94-017-7395-9_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7395-9_1)
20. *Reich P.B., Oleskyn J., Modrzyński J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D., Chorover J., Chadwick O.A., Hale C.M., Tjoelker M.G.* Linking litter calcium, earthworms, and soil properties: a common garden test with 14 tree species, *Ecol. Lett.*, 2005, V.8, Iss. 8, p. 811–818. doi: [10.1111/j.1461-0248.2005.00779.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00779.x)
21. *Tiunov A.V., Hale C.M., Holdsworth A.R., Vsevolodova-Perel T.S.* Invasion patterns of *Lumbricidae* into the previously earthworm-free areas of northeastern Europe and the western Great Lakes region of North America, *Biol. Invasions*, 2006, V.8, Iss.6, p. 1223–1234. doi: [10.1007/s10530-006-9018-4](https://doi.org/10.1007/s10530-006-9018-4)

Received 02 November 2018

Accepted 12 December 2018

Published 26 December 2018

About the author:

Voytekhov Mikhail Ya. - employee Taldom Local Administration for Nature Reserve (Taldom town, Moscow region, Russia); mihail-voytehov@yandex.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/)



ДИСТИЛЛЯЦИЯ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУР И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТЕНИЯМИ

© 2018 Н.Ф. Кулик

*Адрес: ФГБУН Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, проспект Университетский 97, г. Волгоград, 400062, Россия.
E-mail: kuliknf@mail.ru*

Термоградиентный перенос влаги в почвах является глобальным явлением и связан с ритмом поступления солнечного тепла на Землю. В статье рассмотрен механизм парожидкостного термоградиентного переноса влаги. Отмечен эффект прямолинейного движения пара в поровом пространстве в направлении теплового потока. Это явление обеспечивает конденсацию дистиллята почвенного раствора на корнях растений. Установлена зависимость термоградиентного переноса от температуры и величины порового пространства, влажности и засоления почвогрунтов. Отмечается важнейшее значение термоградиентного переноса пара в водном питании растений.

Ключевые слова: конденсация влаги; термоградиентный перенос влаги; парожидкостной поток; эффект прямолинейного движения пара; дистиллят почвенного раствора; водопитание растений

Цитирование: Кулик Н.Ф. Дистилляция почвенного раствора под действием температур и возможность его использования растениями // Почва и окружающая среда. 2018. № 1(4). С.277– 283.

Дневной прогрев почвы летом вызывает тепловой поток, достигающий глубины 40-50 см. Поток строгой вертикальной направленности проникает через все компоненты почвы: минеральную (твёрдую), воду (капиллярную, менисковую и плёночную), а также через поровое пространство, которое занимает до 50% объёма. Тепловой поток передаётся посредством молекулярной теплопроводности, лучеиспускания в поровом пространстве и влагопереносом. Механизм влагопереноса в почве вследствие разности температур впервые мы нашли в публикации В.В. Данилевского (Данилевский, 1935) и далее в публикации В.Е. Сочеванова (Сочеванов, 1938). Наиболее подробно механизм термоградиентного потока влаги описан выдающимся ученым А.М. Глобусом, который назвал его парожидкостным потоком (Глобус 1969, 1983). Сущность влагопереноса следующая: в поровом пространстве при дневном прогреве верхняя поверхность поры тёплая. Здесь происходит испарение. Нижняя часть поры холодная. Здесь происходит конденсация (рис. 1). Вследствие этого объём воды на холодной поверхности увеличивается и она перетекает на верхнюю плоскость нижней поры. Процесс испарения и конденсации повторяется. Ночью направление теплового потока меняется на противоположное (рис. 1). Тепло и влага двигаются к поверхности почвы. А.М. Глобус (Глобус, 1969) назвал этот поток парожидкостным. Мы, в свою очередь, определили в этом потоке эффект прямолинейного движения пара (Кулик, 1967, 1979, 2011). Пар, передвигающийся в поровом пространстве под действием температурных градиентов, не огибает расположенный в поре предмет, назовём его паронепроницаемым экраном, а конденсируется на его поверхности, т. к. она «холодная» по отношению к нагретой поверхности поры. В почвенной поре температура распределяется по линейной зависимости от тёплой стороны к холодной. При помощи микроэлектротермометров было установлено, что температура в середине 3-мм порового пространства была равной половине суммы температур тёплой и холодной стороны поры. При температуре тёплой стороны 19°холодной 18°в середине 3-мм порового пространства температура составила 18,5°.

При дневном прогреве в почвенной поре при наличии паронепроницаемого экрана формируется две тепловые системы: верхняя и нижняя. В верхней части процесс испарения и конденсации осуществляется в нормальном режиме. В нижней системе паронепроницаемый экран является тёплой стороной поры, но на нём снизу нет воды. Из-за отсутствия достаточного количества паробразной влаги, конденсация на нижней поверхности поры не происходит. Визуально это фиксируется в виде сухого пятна, являющегося проекцией паронепроницаемого экрана. Контур экрана размером 1-2 мм сохраняются при расстоянии между экраном и холодной поверхностью поры не более 5 мм. При увеличении расстояния контуры размываются. Отсюда возникает эффект прямолинейного движения пара в направлении теплового потока в поровом пространстве (Кулик, 1967, 1979).

Представление о том, что пар может двигаться в почве извилистыми путями не имеет под собой физического основания. «Извилистый путь» лежит не в изотермическом пространстве, а находится в зоне тепловой волны и имеет тёплую поверхность и холодную, где возникает закономерный перенос с тёплой стороны на холодную, не более. Представление о том, что летом с нагретых пластов почвы пар по извилистым поровым ходам движется в глубину, где более холодный пласт и там конденсируется или наоборот зимой с нижних теплых горизонтов в верхние холодные минуя фазовые трансформации (пар-вода-пар) – нонсенс.

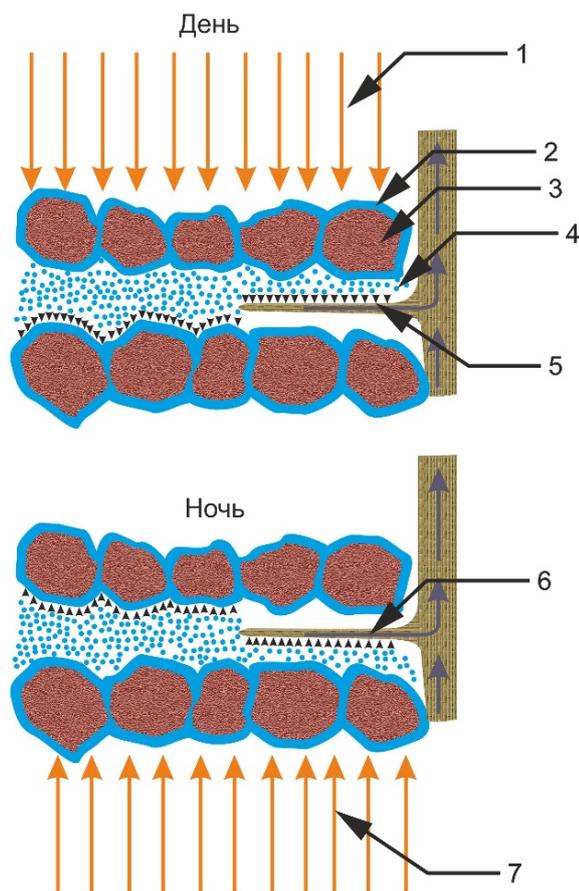


Рисунок 1. Схема суточного термоградиентного переноса влаги в почве. 1) Дневной поток тепла в почву; 2) плёночная, менисковая и капиллярная вода; 3) минеральная часть почвы; 4) парообразная влага; 5) плоскость конденсации; 6) корни растений и движение воды в них; 7) ночной поток тепла

Паронепроницаемым экраном могут быть корни, расположенные в почвенной поре. Во всех случаях они имеют температуру более низкую, чем тёплая сторона поры, исключая кратковременные переходы, когда происходит смена направления теплового потока суточного и сезонного. На корнях конденсируется влага и это уже дистиллят почвенного раствора. Он легко усваивается растениями.

Кроме суточных пульсационных колебаний температур в почвогрунтах существуют сезонные колебания, достигающие глубины 12-19 м. Сезонный перенос влаги фиксируется по всей глубине прогрева, однако по мере углубления он сокращается. Для определения величин сезонного переноса влаги мы использовали микроконденсометры в виде алюминиевых стаканчиков диаметром 6,1 см и высотой 9,6 см. Они наполнялись почвой ниже кромки на 8-10 мм. Почва уплотнялась для исключения высыпания при переворачивании стаканчика. Копался шурф глубиной 3,5 м. Приборчики устанавливались в нише по глубинам 50, 100, 200 и 300 см. Ниша уходила в сторону на расстояние 40-50 см. В нишу устанавливались приборчики: три открытые сверху и три открытые снизу. Вход в нишу засыпался землёй и рубероидом, после чего яма заваливалась землёй. Обычно конденсометры устанавливались с апреля до сентября и с сентября до марта. Параллельно с шурфом бурились скважины на глубину 3,5 м для послойного определения температур каждые 1-2 месяца. По этим данным строились теромизоплеты и

определялась с использованием показателей удельной теплоёмкости влажных грунтов (0,40-0,44 кал/см³), тепловая послонная динамика почвогрунта. Проведённые на Приволжских песках опыты по термоградиентному переносу влаги в период нагрева (апрель-август) показали следующее. Общее поступление тепла через слой на глубине 50 см составил 2988 кал/см² (табл. 1).

Таблица 1

Тепловая динамика почвогрунта и термоградиентный перенос влаги в период прогрева (IV-VIII) в пятилетних культурах сосны*

Глубина, м	0,5	1,0	2,0	3,0
Конденсация парообразной влаги по глубинам, мм	5,1	3,3	2,0	1,2
Выделение теплоты при конденсации, кал/см ^{2**}	301	195	118	71
Общее поступление теплоты по глубинам, кал/см ²	2988	2482	1681	1003
Процент теплоты, выделяемой при конденсации от общего потока тепла	10,1	7,8	7,0	7,1

* В таблицах приведены представительные цифры, взятые непосредственно из опытов, но не средние. Они будут уточняться по мере совершенствования методик. В работе приняли участие сотрудники отдела А. С. Хныкин и Р. Н. Балкушкин, за что автор выражает им искреннюю благодарность

**Расчётное выделение теплоты при конденсации 590 кал/см³

По мере углубления тепловой поток сокращается. На глубине 3 м он равен 1003 кал/см². В такой же последовательности уменьшается и термоградиентный перенос влаги (с 5,1 мм до 1,2 мм). В такой же последовательности уменьшили свой вес перевёрнутые стаканчики. Участие конденсационной влаги в тепловом потоке составило примерно 10% на глубине 50 см. Глубже процент участия термоградиентного потока влаги в переносе тепла сократился, что связано с неполным прохождением теплового потока глубже 50 см. Показательная величина термоградиентного переноса влаги в почвогрунтах является 10% от общего теплового потока (Кулик, 2016).

В годовом цикле термоградиентный перенос наиболее активно выражен весной после снеготаяния, минимальный перенос фиксируется в августе и сентябре (рис. 2). Характерно что в этот период наиболее часто гибнут одно- двухлетние культуры сосны.

Имея термоизоплеты по зоне аэрации почвогрунтов довольно просто определить направление движения парожидкостного потока и его величину. В целом можно отметить, что послонный термоградиентный перенос влаги весьма невелик. Из табл. 2 видно, что в тёплый период через плоскость на глубине 1 м прошло 3,3 мм влаги, а вышло за пределы метрового слоя. В метровом слое осталось 1,3 мм, что может увеличить влажность на 0,12%. Важность термоградиентного потока для растений заключается в том, что он работает в каждой почвенной поре и при наличии корней обеспечивает их дистиллятом почвенного раствора. Примерно такое же количество влаги в зимний период возвращается вверх. На глубине постоянных температур перенос отсутствует. Это «мёртвая» зона.

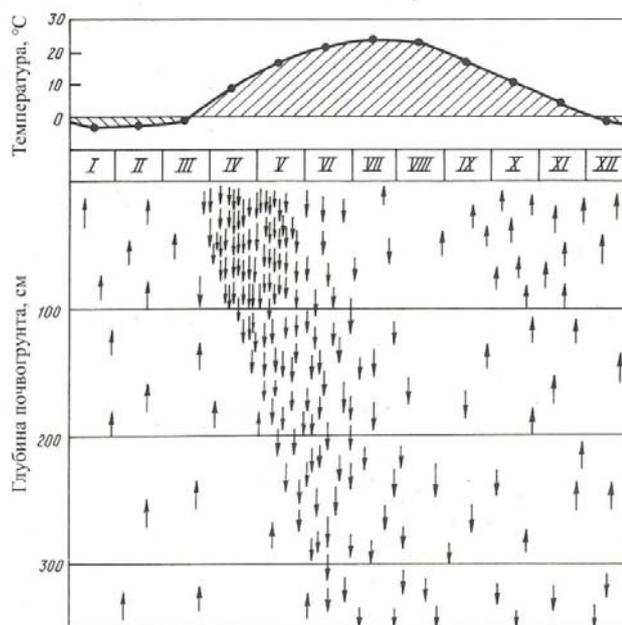


Рисунок 2. Схема сезонного парожидкостного термоградиентного переноса влаги
Стрелки указывают направление потока и его плотность (интенсивность)

Количественные показатели термоградиентного потока влаги нами изучены путём моделирования переноса в поровом пространстве. Предполагается, что в термоградиентном потоке объём переноса воды в твёрдой части почвы такой же, как и в поровом пространстве. Моделирование порового пространства осуществлено с помощью двух горизонтально расположенных плоскостей, удалённых друг от друга в большинстве случаев на расстояние 3 мм. Площадь плоскостей была 148 см² (стеклянный цилиндр) и 49 см² (пластиковая рамка). Тепловой носитель обычно располагался в нижней части конструкции. Обычно его температура была комнатной (23-26°). Верхняя плоскость выполняла функцию холодильника. Это была типографская фольга, на которую ставилась алюминиевая ёмкость с водой, температура которой выдерживалась в пределах 19-22°. Позиция экспонировалась обычно 3 мин. После экспонирования фольга с конденсатом покрывалась точно такой же фольгой во избежание испарения и взвешивалась. Количественные показатели переноса получены в опытах, где тепловой носитель представлен: 1) почвой; 2) водой и 3) мокрой фильтровальной бумагой.

Опыты с почвой. В чашку Петри до самой кромки загружался песчаный грунт (НВ 6%, МГ 1,5%) с весовой влажностью от 20% до 0,2%. На чашку ставилась плоская рамка, фольга и ёмкость с водой. Почва имела комнатную температуру. Опыты с почвами показали весьма интересную особенность. Образцы с влажностью от 20% до 3% имели близкие коэффициенты термоградиентного переноса (0,00060-0,00067 см²/°С·час (табл. 2)).

Таблица 2

Интенсивность переноса влаги в зависимости от влажности почв при температуре 25°С, см²/°С·час

Влажность, %	20	15	10	5	3	2	1	0,5	0,3
Перенос	61·10 ⁻⁵	60·10 ⁻⁵	67·10 ⁻⁵	63·10 ⁻⁵	63·10 ⁻⁵	36·10 ⁻⁵	15·10 ⁻⁵	3,6·10 ⁻⁵	1,6·10 ⁻⁵

Только при снижении влажности ниже ВЗ (2%) перенос резко уменьшался. Примерно такую же особенность мы отмечали ранее (Кулик, 1967). Здесь следует вспомнить вывод А. Ф. Лебедева (Лебедев, 1936) о том, что влажность почвенного воздуха при влажности МГ и более всегда равна 100%. Вероятно, отсюда и стабильный термомперенос во влажных почвах. Рекогносцировочные опыты с глинистыми почвами дали такие же результаты. Показатели переноса влаги, полученные в моделях порового пространства, совпадают с показателями переноса влаги в почвенных монолитах, полученными другими авторами (Глобус, 1969, 1983; Федяева, 2015).

Опыты с водным тепловым носителем. Выполнены для определения коэффициента термоградиентного переноса в зависимости от температуры порового пространства. Использовался стеклянный цилиндр, площадь поверхности воды в котором была 148 см². Он наполнялся водой до уровня ниже кромки на 3 мм с температурой от 5° до 35°. Температура холодного устройства в каждом случае была ниже на 3-4°. Опыты показали тесную связь интенсивности переноса с температурой порового пространства и соответственно с количеством водяного пара в единице объёма воздуха. При увеличении температуры порового пространства от 5° до 30° интенсивность переноса увеличивалась от 0,0002 до 0,0013 см²/°С·час (табл. 3)

Таблица 3

Интенсивность термоградиентного переноса влаги в зависимости от температуры порового пространства, см²/°С·час

Температура порового пространства, °С	5	10	15	20	25	30
Перенос влаги	2·10 ⁻⁴	3,4·10 ⁻⁴	5·10 ⁻⁴	7·10 ⁻⁴	9·10 ⁻⁴	13·10 ⁻⁴
Количество водяных паров в 1 м ³ воздуха, г	6,2	9	12	17	24	30

Возрастание коэффициента влагопереноса по мере роста температуры идёт по экспоненте $y=0,00018 \cdot e^{0,0633x}$. Тёплые грунты по интенсивности влагопереноса почти на порядок выше холодных.

Опыты с мокрой фильтровальной бумагой. Эти опыты проведены с целью определения интенсивности переноса влаги при малых величинах порового пространства (0,02-0,03 см) с использованием плёночных рамок. На плоский металлический круг диаметром 15 см и толщиной 3,8 см кладётся мокрая фильтровальная бумага. Минимальная величина переноса характерна для мелких пор (табл. 4). По мере увеличения порового пространства перенос увеличивался. В крупных порах (> 0,5 см) появляется конвекционный перенос.

На фильтровальной модели изучалось влияние засоления на термоградиентный перенос влаги. Фильтровальная бумага смачивалась раствором NaCl разной концентрации. Оказалось, при смачивании бумаги дистиллированной водой перенос составил $0,0007 \text{ см}^2/\text{°C}\cdot\text{час}$, при смачивании раствором концентрацией 1 г/л перенос сократился до $0,00043 \text{ см}^2/\text{°C}\cdot\text{час}$. Дальнейшее увеличение концентрации раствора практически на перенос не влияло. Эти опыты свидетельствуют о более высокой агрономической ценности структурных почв по сравнению со слитыми глинистыми почвами и засоленными.

Таблица 4

Интенсивность термоградиентного переноса влаги
в зависимости от величины порового пространства при температуре 19 °C , $\text{см}^2/\text{°C}\cdot\text{час}$

Величина порового пространства, см	0,03	0,1	0,3	0,5	1	3	5
Перенос влаги	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$14 \cdot 10^{-4}$

Вегетационные опыты.

1. Опыты с посевами пшеницы выполнены в 2-литровых стеклянных цилиндрах с мелкозернисто-пылеватым песком (НВ 6%). В цилиндры высевалось по 20 зёрен. Часть цилиндров была выставлена в поле, другая часть помещена в термостат при температуре 32 °C . На шестые сутки после посева оказалось, что в полевых условиях, где суточные колебания температуры составили 22 °C всхожесть составила 85%, суммарная длина стеблей 128 см, суммарная длина корней 175 см. В изотермических условиях всхожесть была 50%, суммарная длина стеблей 5 см, суммарная длина корней 80 см (Кулик, 1967). Опыт показал, что активизация термоградиентного переноса влаги способствует улучшению роста растений.

2. Выращивание пшеницы на дистилляте водного раствора. Опыт проводился в чашках Петри. На крышку герметиком наклеивалась толстая ткань (драп). На дно чашки наклеивались 20 зёрен пшеницы. Ткань смачивалась водопроводной водой (0,3 г/л). Чашки в конце мая устанавливались в почву на глубину 5, 10, 15 и 20 см. Здесь же выполнен контрольный посев. Через 9 суток чашки были вскрыты. В каждой из них были проростки (рис. 3). Все растения здесь выросли на дистилляте водного раствора из ткани. На глубине 5 см величина проростков мало отличалась от контрольного посева. По мере углубления величина проростков уменьшалась. Мы связываем это с уменьшением колебаний температур и уменьшением термоградиентного переноса влаги.



Рисунок 3. Проростки пшеницы, выращенные на дистилляте водного раствора по глубинам: а) контроль; б) глубина 5 см; б₁) глубина 10 см; б₂) глубина 15 см; б₃) глубина 20 см

3. Влияние направления термоградиентного потока влаги на прорастание пшеницы. Опыт проводился в чашках Петри, подготовленных так же как в опыте 2. Собрали 5 чашек в одну колонну, обмотали по бокам поролоном и колонну поместили в металлический цилиндр. Сверху поставлена 15-ваттная электрическая лампочка, которая горела в течение 7 дней. Температура на поверхности верхней чашки была 37 °C , на нижней 27 °C . Через 7 дней во всех чашках появились проростки таких же размеров, как и в предыдущем опыте.

В следующем варианте этого же опыта источник тепла был помещён под чашками Петри. После 9 суток прогрева из 100 зёрен в 5 чашках не проросло ни одного зерна. Тепловой поток «отжал» парообразную влагу, хотя мокрая ткань находилась в 2 мм от зёрен. Этот опыт мы использовали для обоснования эффекта прямолинейного движения пара при термоградиентном переносе влаги.

ВЫВОДЫ

1. Термоградиентный перенос влаги в почвах является глобальным явлением и связан с ритмом поступления солнечного тепла на Землю.

2. Термоградиентный перенос влаги представлен парожидкостным потоком, сущность которого следующая: днём в тёплый период года вследствие теплового потока с верхней тёплой плоскости почвенной поры происходит испарение, а на нижней холодной плоскости поры происходит конденсация. Вследствие увеличения здесь объёма воды она перетекает на верхнюю плоскость нижележащей поры, где процесс испарения и конденсации повторяется. Ночью ситуация кардинально меняется. Вследствие охлаждения поверхности почвы парожидкостной поток направлен вверх.

3. В тёплый период года днем величина парожидкостного потока в нагретых горизонтах находится в пределах $0,00060-0,00067 \text{ см}^2/\text{°}\cdot\text{час}$ или $0,006-0,007 \text{ мм}$ водного слоя при градиенте температур 1° на 1 см профиля почвы.

4. За пределами слоя суточных колебаний температур формируются сезонные колебания температур почвогрунтов, достигающие глубины 12-19 м. В период март-август идёт нагрев почвогрунтов, в период сентябрь-февраль – охлаждение. В умеренных широтах северного полушария Земли в почве аккумулируется 3000 кал/см^2 тепла. Зимой это тепло уходит в атмосферу. При движении теплового потока формируется термоградиентный поток влаги. Через плоскость на глубине 50 см проходит 5,1 мм воды. По мере углубления поток ослабевает. Термоградиентный перенос влаги обеспечивает 10% теплового потока.

5. В термоградиентном переносе влаги существует эффект прямолинейного движения пара от тёплой стороны к холодной. В почвенной поре пар не огибает паронепроницаемый экран, а конденсируется на нём.

6. Корни растений являются паронепроницаемым экраном, что обеспечивает на них конденсацию парожидкостного потока. Массовое размещение корней в почвенных порах позволяет им поглощать конденсационную воду в объёмах, достаточных для водопитания.

7. Термоградиентный перенос влаги является важнейшим условием жизни почв и его, образно говоря, можно назвать продолжением солнечного излучения в почвенных горизонтах. Есть основания рассматривать корневую систему как горизонтально расположенную водоулавливающую сетку. Вследствие термоградиентного движения влаги в каждой поре формируется поток дистиллята почвенного раствора, который орошает всё живое, находящееся в почве: корни растений, семена, холоднокровных животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глобус А. М. Экспериментальная гидрофизика почв: Гидрометеиздат. Л., 1969. 352 с.
2. Глобус А. М. Физика неизотермического внутрипочвенного влагопереноса. Гидрометеиздат. Л., 1983. 278 с.
3. Данилевский В.В. К вопросу о конденсации атмосферной влаги на основе археологических фактов // Стенограмма Первой конференции по конденсации водяных паров воздуха (воздушный колодец). М.-Л.: Ред.-изд. отд. ЦУЕГМС, 1935. 80 с.
4. Кулик Н. Ф. О термоградиентном переносе влаги в песчаных почвах // Почвоведение. 1967. №12. С 86-100.
5. Кулик Н. Ф. Водный режим песков аридной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 280 с.
6. Кулик Н. Ф. Чудо, которого нет // Наука и жизнь. 2011. №5. С 72-73.
7. Кулик Н. Ф. О возможности конденсации атмосферной влаги в почве // Бюлл. Почв. Ин-та. им. В. В. Докучаева. 2016. Вып. 83. С 41-51. doi: 10.19047/0136-1694-2016-83-41-52
8. Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. М: Изд. АН СССР, 1936.
9. Сочеванов В. Е. Конденсация в песках Прикаспийской низменности и методика ее определения // Труды ГГИ. 1938. №1. С. 89-106.
10. Федяева Е. А. Закономерности неизотермического переноса влаги в песчаных и пылеватых грунтах. Автореф. дисс. на соискание учёной степени к. геол.-минер.н. М., 2015. 27 с.

Поступила в редакцию 31.10.2018;
принята 12.12.2018; опубликована 26.12.2018

Сведения об авторе:

Кулик Николай Филиппович – профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград, Россия; kuliknf@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 SOLUTION DISTILLATION BY TEMPERATURE AND THE POSSIBILITY OF VAPOUR USE BY PLANTS

© 2018 N.F. Kulik

Address: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia. E-mail: kuliknf@mail.ru

Thermogradient water transfer in soils is a global phenomenon and is associated with the rhythm of solar heat reaching the Earth. The article describes the mechanism of vapour-liquid thermogradient of water transfer. The effect of straight vapour movement in the pore space in the direction of heat flow is revealed. This phenomenon results in condensation of soil solution distillate on plant roots. The dependence of soil water thermogradient transfer on temperature and the pore space size as well as on soil humidity and salinity was found. The great importance of the thermogradient vapour transfer in water supply for plants is noted.

Key words: *moisture condensation; thermogradient moisture transfer; vapor-liquid moisture transfer; the effect of straight steam motion; soil solution distillate; plants water nutrition*

How to cite: *Kulik N.F. Soil solution distillation by temperature and the possibility of vapour use by plants // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(4): 277–283. (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. *Globus A.M. Experimental soil hydrophysics. Leningrad: Gidrometeoizdat Pbs., 1969, p. 352. (in Russian)*
2. *Globus A.M. Physics of non-isothermal subsurface moisture transfer. Leningrad: Gidrometeoizdat Pbs., 1983, p. 278. (in Russian)*
3. *Danilevsky V.V. On the question of the condensation of atmospheric moisture on the basis of archeological facts, Transcript of the First Conference of the water vapor in the air condensation (air well). Moscow-Leningrad: TSUEGMS Pbs., 1935. 80 p. (in Russian)*
4. *Kulik N.F. On thermal gradient moisture transfer in sandy soils, Pochvovedenie, 1967, No12, p 86-100. (in Russian)*
5. *Kulik N.F. Water mode sands of the arid zone. Leningrad: Gidrometeoizdat Pbs., 1979, p.279. (in Russian)*
6. *Kulik N.F. The miracle that is not, Nauka I zhizn, 2011, No5, p. 72-73. (in Russian)*
7. *Kulik N.F. On the ability of atmospheric vaporous water to condensate within the soil on the background of thermal balance and experimental materials, Bulletin of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2016, No83, p.41-52. doi: [10.19047/0136-1694-2016-83-41-52](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-83-41-52) (in Russian)*
8. *Lebedev A.F. Soil and groundwater. Moscow: Izdatelstvo AS USSR, 1936. (in Russian)*
9. *Sochevanov V.E. Condensation in the sands of the Caspian lowland and methods for its determination, Proc. of the GGI, 1938, No1, p.89-106. (in Russian)*
10. *Fedayeva E.A. Patterns of non-isothermal moisture transfer in sandy and silty soils. Abstract of Dissertation ... Candidate Sciences of Geology and Mineralogy Sciences. Moscow, 2015. 27 p. (in Russian)*

Received 31 October.2018; accepted 12 December 2018

Published 26 December 2018

About the author:

Kulik Nikolai F. – Professor, Doctor of Biological Sciences, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Volgograd, Russia); kuliknf@mail.ru

The author read and approved the final manuscript



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



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИШИМСКОЙ СТЕПИ

© 2018 Ю.В. Кравцов

Адрес: Новосибирский государственный педагогический университет, ул. Вилюйская, 28,
г. Новосибирск, 630126, Россия. E-mail: kravtsov60@mail.ru

В статье отражены результаты исследований природно-мелиоративных условий степной зоны Ишимской равнины, за период с 1986 года по настоящее время. Показана специфика гидрологического состояния почвенно-грунтовых толщ в течение «полуциклов» лет с возрастающим и убывающим атмосферным увлажнением сезонов вегетации. Раскрыты причины и механизмы динамичности водного режима плакорных почв равнины в течение второй половины XX столетия и в начале XXI века. Приведены результаты сравнительного анализа морфологии опорных разрезов плакорных почв, заложенных в 1986 и 2018 гг. С учетом полученных в ходе многолетних исследований данных, одной из главных задач дальнейших изысканий в Ишимской степи является выявление характера изменений гидрологического состояния и свойств почв в течение начавшегося очередного «полуцикла» лет с понижающимся атмосферным увлажнением.

Ключевые слова: чернозем южный; лугово-черноземная почва; водный режим; уровень грунтовых вод; многолетняя динамика

Цитирование: Кравцов Ю.В. Основные результаты многолетних почвенно-гидрологических исследований в ишимской степи // Почва и окружающая среда. 2018. № 1(4). С.284 – 294.

Ишимская степь (Ишим-Иртышское степное междуречье) является важным аграрным регионом Сибири. Однако получению высоких стабильных урожаев зерновых культур и кормовых трав там часто препятствует недостаток почвенного и атмосферного увлажнения. Для обеспечения культурных растений оптимальными ресурсами влаги на Ишим-Иртышском степном междуречье в 1980-е гг. планировалось строительство Южно-Омской оросительной системы. В связи с заказом Государственного комитета по науке и технике при Совете Министров СССР на проведение научной экспертизы проектировавшейся оросительной системы сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН выполнены почвенно-мелиоративные исследования. В соответствии с полученным заданием в летний сезон 1985 г. проведена обзорная экскурсия на Ишим-Иртышское степное междуречье, в ходе которой собраны первичные полевые данные. Двумя годами позднее эти материалы легли в основу первой публикации с предварительной оценкой особенностей природно-мелиоративных условий Ишимской степи (Панфилов и др., 1987). В кратком обобщении коллективом авторов сделано заключение, что эти условия характеризуются сочетанием ряда неблагоприятных для орошения особенностей.

Во-первых, рельеф массивов планируемой мелиорации отличается минимальной вертикальной расчлененностью (5–20 м), что предопределяет сложности с отводом возможных потерь поливных вод. *Во-вторых*, более 30% площади междуречья занимают отрицательные формы микро- и мезорельефа, способные выполнять функции местных приемников для оросительных вод, которые, просачиваясь, обуславливают возможность подъема грунтовых вод к критической глубине и выше. *В-третьих*, территория Ишимской степи сложена преимущественно однородными четвертичными породами тяжелосуглинистого гранулометрического состава с высоким содержанием илистой фракции и легкорастворимых солей (с глубины 0,5–1,0 м). Сравнительно близко к поверхности (3–10 м) залегают засоленные палеоген-неогеновые глины и горизонт высокоминерализованных (10–20 г/л и более) грунтовых вод хлоридно-натриевого состава. Подъем таких грунтовых вод вследствие орошения может вызвать изменение сложившегося баланса солей и вероятные последствия этого требуют самого внимательного изучения. *В-четвертых*, почвенный покров равнины представлен лугово-степными комплексами, состоящими из парагенетического ряда автоморфных и гидроморфных почв, недифференцированный подход к орошению которых способен нарушить их водный режим. *В-пятых*, подстилающие толщ пород характеризуются постоянно повышенной влажностью (до уровня наименьшей влагоемкости), пониженной аэрируемостью, а также ограниченной влагоаккумулирующей, влагопроводной и дренирующей способностью. В целом, выделенные особенности почв и пород Ишимской степи указали на их неспособность противостоять явлениям переувлажнения.

Основные положения вышеперечисленных тезисов позднее подкреплены большим объемом результатов полевого глубокопрофильного изучения ишимских почв и получили детальное раскрытие в коллективной монографии «Черноземы: свойства и особенности орошения» (Панфилов и др., 1988а). В работе показано, что температурный режим ишимских автоморфных и гидроморфных почв тяжелого гранулометрического состава характеризуется общими чертами – длительным и глубоким сезонным промерзанием и достаточными летними глубинами прогревания, соразмерностью тепло- и холодонакопления, что предопределяет близкие среднегодовые температуры изучаемых почв на различных глубинах и позволяет отнести их к длительно-сезонно-мерзлотным. Вместе с тем, ишимские черноземы южные летом охарактеризованы как умеренно теплые по всему профилю, а лугово-черноземные почвы – как умеренно холодные в пахотном слое и холодные в горизонте В (Азьмука и др., 1988).

Также в работе установлено (Слесарев и др., 1988), что специфика температурного режима почв, как и других физических и водно-физических параметров во многом обусловлена гранулометрическим составом, который для почв и подстилающих пород Ишимской степи преимущественно пылевато-иловатый или иловато-пылеватый легкоглинистый, переслаивающийся иловато-песчаными тяжелыми и средними суглинками. Выявлено отсутствие изменений гранулометрического состава почв и пород в связи с их положением в мезо- и микрорельефе. Установлена важнейшая генетическая особенность изучаемых почв и пород – высокое (до 40%) содержание илистых частиц, которое предопределяет мелиоративные особенности черноземов южных и лугово-черноземных почв Ишим-Иртышского степного междуречья. Большим удельным весом илистой фракции и, следовательно, преобладанием микропор в составе пор обусловлено незначительное содержание капиллярной влаги при влажности на уровне капиллярной влагоемкости (менее 6% объема) и свободной гравитационной влаги при полной влагоемкости (менее 6% объема), что, в свою очередь, определяет низкую водоотдачу и небольшую резервную влагоемкость исследуемых почвенно-грунтовых толщ.

По результатам полевых наблюдений 1985–1986 гг. определены особенности гидрологического состояния почв и подстилающих пород в годы «полуцикла» лет с понижающимся атмосферным увлажнением сезонов вегетации (Панфилов и др., 1988). Этот «полуцикл», согласно прогнозным расчетам А.П. Сляднева (Сляднев, 1970, 1972), имел место в 1984–2000 гг. Установлено, что в этот период в центральной, наиболее возвышенной, части Ишим-Иртышского степного междуречья уровень грунтовых вод в середине 1980-х гг. находился на глубине 3–7 м. В восточной части, являющейся пологим склоном поверхности междуречья к долине р. Иртыш, – на глубине 4–10 м. Черноземы южные, благодаря такому неглубокому уровню и высокому содержанию илистой фракции, обуславливающему преобладание в водной фазе пленочной и сорбционно-замкнутой воды, отличались отсутствием характерного для степных автоморфных почв слоя с постоянно пониженной влажностью (импермацидного, «мертвого»). Под поверхностными горизонтами переменного увлажнения в почвах независимо от их положения в рельефе и глубины залегания грунтовых вод наблюдали горизонты наименьшего и капиллярного насыщения. Установлена также вертикальная мощность капиллярной каймы в тяжелосуглинистых высоко илистых толщах почв и пород (2,0–2,5 м) и критическая глубина залегания грунтовых вод (3,9 м). На основании учета уровней грунтовых вод, при которых проявляются и не проявляются следы пленочно-капиллярной подпитки почвенных профилей, определено, что при глубине ниже критической (3,9 м) почвы плакорных участков развиваются в автоморфном режиме. В диапазоне глубин до 2,6 м и выше складываются условия для развития полугидроморфных и гидроморфных почв соответственно. Пленочно-капиллярная подпитка слоя активного влагооборота от грунтовых вод, расположенных в среднем за сезон вегетации на глубине 2,25 м и 1,70 м, составила в течение летнего сезона 1986 г. соответственно 16 и 50 мм. Выделена еще одна мелиоративная особенность гидрологического состояния почв Ишимской степи – схожесть абсолютных величин влагозапасов в почвах разной степени гидроморфности и вероятность быстрого подъема уровня грунтовых вод при благоприятных условиях (например, в результате орошения или функционирования полезационных лесополос), что обусловлено узостью диапазона гравитационной влаги.

Кроме того, по итогам почвенно-мелиоративных исследований определены основные черты засоления почв, подстилающих пород и грунтовых вод Ишим-Иртышского степного междуречья (Сеньков, 1988). Выявлено, что почвенно-грунтовые толщи плакорных участков характеризуются однотипным, элювиально-иллювиальным строением ионно-солевых профилей, не зависящим от уровня грунтовых вод. На основании этого сделан вывод об отсутствии влияния грунтовых вод на

формирование засоления степных почвенно-грунтовых толщ плакоров. Позднее материалы глубокопрофильного сопряженного исследования химического состава компонентов ионно-солевого профиля степных почв равнины (твердых солей, почвенного раствора и поглощающего комплекса) использованы для создания концепции галогенеза (Сеньков, 2004). На основе структурно-функционального анализа солевых профилей и математического моделирования А.А. Сеньковым установлена ведущая роль солей атмосферных осадков в формировании солевых профилей почв и пород зоны аэрации Ишимской равнины. Показано, что легкорастворимые соли, содержащиеся в материнских породах в небольшом количестве, в процессе почвообразования заменены или дополнены солями атмосферных осадков. Глубина, степень и химизм засоления почв определяются интенсивностью внутрипочвенного стока, величина которого зависит от условий поверхностного увлажнения микрорельефа и влагоемкости почвообразующих пород.

В годы «полуцикла» лет с понижающимся атмосферным увлажнением сезонов вегетации (1986–1989 гг.) сопряженно глубокопрофильно изучен водный режим автоморфных и полугидроморфных почв Ишимской степи (Кравцов, 2006а). Выявлены общие особенности и отличительные черты в южных черноземах и лугово-черноземных почвах. Общий характер режима обусловлен тяжелым гранулометрическим составом почв и подстилающих пород, благодаря которому вертикальная мощность слоя активного влагооборота невелика и изменяется от 0,8 м в черноземах южных и черноземно-луговых почвах до 1,0–1,2 м – в лугово-черноземных. В течение вегетационного периода под доминирующими среди посевов яровыми зерновыми культурами до указанных глубин формируется слой интенсивного эваподесуктивного иссушения (с влажностью до уровня влажности завядания и ниже) резко ограниченной от подстилающей влажной толщи. Установлено, что по причине преобладания в тяжелосуглинистых высоко илистых породах сорбированной трудноподвижной влаги, в профилях гидроморфных почв, так же, как и в соседних автоморфных, не отмечается осеннего передвижения влаги в слой интенсивного эваподесуктивного иссушения снизу, из горизонтов с постоянно повышенной влажностью. По той же причине гидроморфные почвы в течение осеннего и зимнего сезонов не испытывают пленочно-капиллярной подпитки от грунтовых вод и развиваются в автоморфном режиме. Выявлено, что зимняя термоградиентная миграция влаги имеет место лишь в нижних, хорошо увлажненных горизонтах автоморфных и полугидроморфных почв и в подстилающих породах (на глубине 0,8–1,7 м). Прибавка влаги на указанных глубинах достигает 15–30 мм в черноземах южных и 25–50 мм в лугово-черноземных почвах. Роль этой миграции в погашении дефицита влажности в слое эваподесуктивного иссушения ничтожна, но значима как процесса, способствующего возникновению и поддержанию условий анаэробнобиозиса (Кравцов, 1992). С поверхности и до глубин 0,8 м в черноземах и до 1,0–1,2 м и глубже в лугово-черноземных почвах отмечается промачивание профиля в весеннее время преимущественно талыми водами, которым принадлежит решающая роль в восполнении запасов почвенной влаги. Ю.В. Кравцовым выявлено, что благодаря тяжелому гранулометрическому составу, а также из-за небольших сумм жидких осадков в течение осени и весны и ограниченностью запасов влаги в снежном покрове, объем весенней прибавки влаги в верхнем метровом слое исследуемых почв остается невысоким (до 90 мм в черноземах южных или 80% суммы осенне-зимне-весенних осадков и до 120 мм или 100% суммы осенне-зимне-весенних осадков в лугово-черноземных почвах). На начало сева яровых зерновых культур в слое 0–1,0 м черноземов южных накапливается 90–130 мм продуктивной влаги, что несколько меньше уровня наименьшей влагоемкости, тогда как в том же слое лугово-черноземных почв на отрицательных формах рельефа – 130–150 мм, что соответствует оптимальному увлажнению.

Также Ю.В. Кравцовым установлено, что различия в водном режиме ишимских степных почв связаны с их неодинаковым положением в рельефе. Поступление талых вод на поверхность лугово-черноземных почв, развивающихся в нижней части микропонижений, оказывается на 30–50 мм больше, чем для черноземов, расположенных на соседних плакорных участках. Благодаря дополнительному поступлению поверхностной влаги лугово-черноземные почвы в весенне-раннелетнее время промачиваются на всю глубину профиля, а часть фильтрующейся воды поступает в горизонт грунтовых вод. Судя по высоте весеннего подъема их уровня (на 0,5–0,6 м), поступление составляет до 30–36 мм воды. Ежегодное промачивание профиля лугово-черноземных почв обеспечивает вымывание легкорастворимых солей. В весеннее время уровень грунтовых вод под лугово-черноземными почвами микропонижений фиксируется на глубине 3–3,5 м, что выше критической. Однако, в связи с тем, что расстояние между слоем иссушения и уровнем грунтовых вод превышает 2,5 м, пленочно-капиллярную подпитку слоя иссушения

методом изолированных призм обнаружить не удалось. Благодаря большим запасам влаги и отмытости профиля от солей на лугово-черноземных почвах ежегодно формируются более высокие урожаи зерновых (в среднем 20–25 ц/га против 11–13 ц/га на черноземах южных). По причине благоприятных условий развития фитоценозов лугово-черноземные почвы микропонижений характеризуются большей вертикальной мощностью гумусово-аккумулятивного горизонта по сравнению с соседними черноземами южными (30–35 см против 19–21 см в распаханых вариантах соответственно).

Ю.В. Кравцовым установлено, что черноземно-луговые почвы на поверхности крупных котловин равнины характеризуются залеганием грунтовых вод на глубине 2,2–2,6 м. Положение почв на выровненной поверхности в нижней части котловин обуславливает отсутствие на них дополнительного, по сравнению с плакорными участками, накопления снега в течение холодного сезона года. Вертикальная мощность снежного покрова и запасы воды в снеге на поверхности черноземно-луговых почв в конце зимних сезонов сходны с таковыми величинами на черноземах южных – 0,15–0,25 м и 50–80 мм соответственно. Вместе с тем, такое положение почв благоприятствует поверхностному притоку влаги с верхних частей склонов котловин во время таяния снега. Однако роль притока в формировании весенних запасов влаги в черноземно-луговых почвах практически не ощущается благодаря низкой и очень низкой водопроницаемости тяжелосуглинистых высоко илистых почв, находящихся к тому же в мерзлом состоянии в период снеготаяния. В результате запасы влаги в слое активного влагооборота черноземно-луговых почв на период весеннего сева не всегда достигают оптимальных объемов и составляют обычно 70–90% уровня наименьшей влагоемкости. В период между активным снеготаянием (первая – вторая декады апреля) и весенним севом (вторая – третья декады мая) нижняя часть профиля черноземно-луговых почв увлажняется до уровня наименьшей – капиллярной влагоемкости за счет подъема грунтовых вод. В процессе полевых наблюдений установлено, что подъем связан с поступлением аллохтонных вод со стороны озерного водоема в нижней части котловины. Исходный (перед началом снеготаяния) уровень грунтовых вод в черноземно-луговой почве расположен ниже уреза воды в озере, в которое затем поступает талая вода с пологих склонов котловины. В процессе вегетации культурных растений в слое активного влагооборота черноземно-луговых почв создается значительный дефицит влаги, влажность слоя снижается до уровня влажности завядания уже к первой – второй декадам июля. Под воздействием градиента влажности слой активного влагооборота испытывает небольшую по объему пленочно-капиллярную подпитку от грунтовых вод. Методом изолированных призм установлено, что подпитка корнеобитаемого слоя почв при уровне грунтовых вод 2,2–2,6 м не превышает 40 мм за сезон вегетации или 16% эваподесуктивного расхода влаги под яровыми зерновыми. Роль подпитки в формировании урожая яровых зерновых невелика в связи с тем, что в слое капиллярного насыщения черноземно-луговых почв возникают неблагоприятные для развития корневых систем культурных растений условия – повышенная засоленность и низкие, вплоть до критических, значения пористости аэрации.

Ю.В. Кравцовым уточнены тип, подтип и класс водного режима изучаемых почв по классификации А.А. Роде. В годы исследований (1986–1989 гг.) черноземы южные с уровнем грунтовых вод в летний период 4,2 м и глубже имели непромывной тип водного режима подтип атмосферного питания класс несквозного наименьшего насыщения в слое активного влагооборота и типичного для черноземов данного региона постоянного наименьшего насыщения нижележащей толщи. Почвы микропонижений на поверхности междуречья с уровнем грунтовых вод 3,5 м характеризовались периодически промывным типом водного режима подтипом атмосферного питания с дополнительным поверхностным классом чередующегося сквозного и несквозного наименьшего насыщения. Почвы обширных котловин с уровнем грунтовых вод 2,2–2,6 м в летний период имели десуктивно-выпотной тип водного режима подтип атмосферного питания с дополнительным ограниченным грунтовым классом слабовыраженного капиллярного насыщения.

Полученные в ходе исследований данные о водном режиме черноземных почв Ишим-Иртышского степного междуречья позволили прогнозировать, с учетом повышенной обводненности сорбированной влагой и недостаточной аэрируемости их микропорового пространства, возможность быстрого переувлажнения почв в результате ненормированного орошения, особенно на фоне возделывания яровых зерновых культур. Нормированное, научно обоснованное орошение этих почв целесообразно на посевах многолетних трав, способных формировать горизонт интенсивного десуктивного иссушения до глубины 2,0 м и, тем самым, сдерживать инфильтрационные потери при орошении.

Отмеченные различия в увлажнении почв Ишимской степи обусловили отличительные черты их температурного режима. Они проявляются в запаздывании (на 7–20 дней) весеннего оттаивания – прогревания и осеннего охлаждения – промерзания нижних слоев лугово-черноземных почв, в пониженной температуре слоя активного влагооборота (на 1–3° на глубине 0,8 м во второй декаде июля), а также в более плавном суточном и годовом ходе температур в лугово-черноземных почвах по сравнению с черноземами (Кравцов, 2006b). В целом, температурный режим изучаемых черноземов южных и лугово-черноземных почв, наряду с благоприятными для выращивания сельскохозяйственных культур характеристиками, отличается и рядом отрицательных особенностей с точки зрения растениеводства – глубоким и сильным промерзанием, медленным оттаиванием и прогреванием до активных температур. При возможном нормированном орошении черноземов южных их температурный режим мало изменится и приобретет черты, характерные для температурного режима лугово-черноземных почв или для тех же черноземов южных в оптимальные по увлажнению годы.

Материалы многолетних почвенно-гидрологических наблюдений в течение «полуциклов» как с понижающимся, так и с возрастающим атмосферным увлажнением (2000–2016 гг., по расчетам А.П. Сляднева) послужили основой для формулирования положения о динамичности водного режима плакорных почв степной зоны Ишимской равнины и изменчивости степени их гидроморфности под влиянием антропогенных и природных факторов (Кравцов, 2014). Отмечены благоприятные предпосылки для динамики уровня неглубоко залегающих грунтовых вод вследствие изменений их баланса и, следовательно, для изменений степени гидроморфности почв. На основании анализа картографического материала (Топографическая ..., 1965а, 1965b), опубликованных данных (Горшенин, 1955, Градобоев и др., 1960), материалов наблюдений за многолетней динамикой уровня грунтовых вод в стационарных водомерных скважинах и устных свидетельств местных жителей Ю.В. Кравцовым установлено, что в середине прошлого столетия уровень грунтовых вод на плакорных участках Ишим-Иртышского степного междуречья отмечался на глубине 6–17 м. Почвы в таких условиях развивались в автоморфном режиме. Обобщение материалов полевых наблюдений позволило сформулировать положение об антропогенной природе многолетнего подъема уровня грунтовых вод до критической глубины (Кравцов, 2009а). Выявлено, что ведущими антропогенными факторами подъема за пределами населенных пунктов являются распаханность Ишимской степи и функционирование полезационных и придорожных лесополос. На пашне, по сравнению с целинными участками, возрастает поступление поверхностных вод через микропонижения в горизонт грунтовых вод. Это происходит вследствие снижения влагопотребления культурными растениями, по сравнению с естественными, и увеличения горизонтального поверхностного притока воды по распаханной поверхности в наиболее глубокие части микропонижений. У лесополос отмечалось накопление снегового покрова мощностью до 2–3 м с запасами воды в снеге до 900 мм. Часть этой влаги в весеннее время просачивалась в горизонт грунтовых вод. Эти факторы способствовали подъему уровня грунтовых вод на плакорных участках центральной части междуречья в течение 1960–2000-х гг. до критических глубин. Региональный подъем уровня грунтовых вод неоднократно регистрировался в ходе многолетних полевых наблюдений. Так, в течение 1986–1989 гг. на плакорных участках междуречья уровень грунтовых вод отмечался: в центральной части междуречья – на глубинах 4–5 м, в восточной части – на глубинах 6–14 м. В 2002–2007 гг. в тех же разрезах уровень грунтовых вод фиксировался: в центральной части междуречья – на глубине 3–4 м, в восточной части – на глубине 4–6 м. После многоснежных сезонов (с суммой атмосферных осадков более 120 мм за ноябрь – март) происходил подъем уровня вод выше критической глубины, за счет поступления талой влаги, его снижения в течение периода вегетации не зафиксировано (Кравцов, 2009b). К осени – зиме отмечалось падение уровня ниже критической глубины, в основном за счет потерь влаги на суммарное испарение из слоя активного влагооборота. Таким образом, плакорные почвы развивались в полугидроморфном режиме.

После зимних сезонов с меньшими суммами атмосферных осадков уровень грунтовых вод, как правило, расположен ниже критических глубин. Почвы развивались в автоморфном режиме. Поскольку в течение 2000-х и 2010-х гг. преобладали многоснежные зимние сезоны, грунтовые воды на плакорных участках междуречья залегают выше критической глубины (на глубине 2,5–3,5 м). Влияние высокого уровня вод на продуктивность почв отследить достаточно сложно, поскольку, во-первых, абсолютные величины и доля пленочно-капиллярной подпитки слоя активного влагооборота в суммарном обороте по-прежнему остаются небольшими (до 30 мм за

сезон вегетации и до 8–10%). Во-вторых, в течение «полуцикла» лет с возрастающим атмосферным увлажнением сезонов вегетации (2000–2016 гг., по расчетам А.П. Сляднева) преобладают летние периоды с большим количеством атмосферных осадков (от 100 до 200 мм за июнь – август). В связи с такими суммами осадков средняя урожайность преобладающих в структуре посевов яровых зерновых культур становится повышенной (в среднем 18,8 ц/га по Русско-Полянскому району Омской области за 2001–2016 гг. против 11,3 ц/га по тому же району за 1984–2000 гг. при суммах осадков 90–130 мм за летние месяцы) (Кравцов и др., 2017). По результатам исследования сформулированы рекомендации по рациональному использованию почв при изменениях степени их гидроморфности.

Для оценки влияния на плакорные почвы грунтовых вод, залегающих в течение двух десятилетий на критических глубинах и выше, проведен сравнительный анализ морфологии опорных разрезов черноземов южных центральной части Иршим-Иртышского степного междуречья, заложенных в 1986 году (№7) и 2018 году (№№ 142, 143, 144, 145). При этом современные разрезы описаны на соседних парующихся участках: в 2 км к востоку (№144) и в 3 км к западу-юго-западу (разрез 145) от разреза № 7, а разрезы 142 и 143 – под лесополосой 45-летнего возраста. Ниже приведены описания.

Разрез 7. Русско-Полянский район Омской области. Распаханный плакорный участок Ишим-Иртышского степного междуречья. Чистый пар. Абсолютная высота 121 м. 150 м к западу от полевая лесополосы 1973 г. посадки. Залегание грунтовых вод на глубине 4,3 м.

Почва: чернозем южный карбонатный малогумусовый среднемоощный тяжелосуглинистый

Ап 0–0,1 м	Сухой, серый, тяжелосуглинистый, комковато-глыбистый, рыхлый. Много корней. Вскипает от 10% HCl с поверхности.
А 0,10–0,21 м	Влажный, темно-серый, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, уплотненный. Вскипает от 10% HCl.
АВ 0,21–0,50 м	Влажный, языковатый: отмечаются серые затеки на буром фоне, тяжелосуглинистый, непрочный-комковатый, уплотненный. Много отмерших корней. Границы горизонта неровные. Вскипает от 10% HCl.
Вса 0,50–0,73 м	Влажный, бурый, языковатый, по трещинам сверху прослеживаются серые затеки гумуса, тяжелосуглинистый, комковато-глыбистый. Пористый. Границы горизонта неровные. Вскипание от 10% HCl бурное.
Всв 0,73–0,88 м	Влажный, бурый, тяжелосуглинистый, ореховатый, плотный. Гипс в виде рыхлых друз неправильной формы. Пленки по граням структурных отдельностей могут иметь сизоватый оттенок.
ВСс 0,88–1,28 м	Влажный, бурый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, плотный. Редкие, хорошо оформленные друзы гипса.
Сс 1,28–1,70 м	Влажный, бурый, с сизыми прослойками, тяжелосуглинистый, бесструктурный, более плотный по сравнению с предыдущим горизонтом. Друзы гипса редки, имеют округлую форму диаметром около 3 см. Ходы корней.

Разрез 144 (рис. 1А). 26.06.2018. Русско-Полянский район Омской области. Распаханный плакорный участок Ишим-Иртышского степного междуречья. Чистый пар. Абсолютная высота 120 м. 2 км к востоку от полевая лесополосы 1973 г. посадки. Залегание грунтовых вод на глубине 3,1 м.

Почва: чернозем среднемоощный тяжелосуглинистый

Ап 0–0,1 м	Слегка увлажненный, черно-серый, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, не вскипает от 10% HCl, наблюдаются остатки корней растений.
А 0,10–0,19 м	Слегка увлажненный, черно-серый, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, не вскипает от 10% HCl, наблюдаются остатки корней растений.
АВ 0,19–0,31 м	Более влажный, чем вышележащий горизонт, серо-коричневый с потеками темноокрашенного вещества, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, уплотненный, не вскипает от 10% HCl.
В 0,31–0,68 м	Более влажный, желто-коричневый с темноокрашенными затеками, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, плотный, вскипает от 10% HCl.
Вс 0,68–1,25 м	Влажный, желто-коричневый, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, плотный, вскипает от 10% HCl.
Сса 1,25–1,80 м	Сильно влажный, желто-коричневый со стяжениями карбонатов диаметром до 2–3 см, вскипает от 10% HCl, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, плотный.

Разрез 145 (рис. 1Б). 26.06.2018. Русско-Полянский район Омской области. Распаханный плакорный участок Ишим-Иртышского степного междуречья. Чистый пар. Абсолютная высота 123 м. 3 км к западу-юго-западу от полевозащитной лесополосы 1973 г. посадки. Залегание грунтовых вод на глубине 3,5 м.

Почва: чернозем среднетяжелосуглинистый

Ап 0–0,1 м	Влажный, черно-серый, тяжелосуглинистый, комковатый, уплотненный, вскипает от 10% HCl.
А 0,1–0,3 м	Влажный, черно-серый, тяжелосуглинистый, комковатый, уплотненный, вскипает от 10% HCl, встречаются ходы корней.
АВ 0,3–0,7 м	Влажный, серо-желтый, с затеками темноокрашенного вещества, тяжелосуглинистый, комковатый, уплотненный, вскипает от 10% HCl.
В 0,70–0,91 м	Влажный, коричневатато-желтый, тяжелосуглинистый, комковатый, вскипает от 10% HCl
ВСса 0,91–1,45 м	Очень влажный, коричневый с белыми выцветами карбонатов, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый.
С 1,45–1,90 м	Очень влажный, коричневый, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый, вскипает от 10% HCl.



А



Б

Рисунок 1. Разрезы почв на плакорных участках Ишим-Иртышского степного междуречья 2018 г. А – разрез 144; Б – разрез 145

Разрез 142. 24.06.2018. Русско-Полянский район Омской области. Плакорный участок Ишим-Иртышского степного междуречья. Лесополоса, четырехрядная посадка тополя 1973 года. Залегание грунтовых вод на глубине 3,0 м.

Почва: чернозем среднетяжелосуглинистый

Ад 0–0,05 м	Сухой, черно-коричневый, тяжелосуглинистый, рыхлый. Много корней. Не вскипает от 10% HCl с поверхности.
А 0,05–0,34 м	Слегка влажный, темно-серый, тяжелосуглинистый, комковатый, неуплотненный. Не вскипает от 10% HCl.
АВ 0,34–0,90 м	Влажный, коричневатый с гумусовыми затеками темно-серого цвета, тяжелосуглинистый, комковатый. Границы горизонта неровные. Не вскипает от HCl.
Вса 0,90–1,16 м	Влажный, более чем предыдущий, желто-коричневый, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый. Нижняя граница неровная, с затеками вещества вниз, верхняя граница относительно ровная. Вскипает от 10% HCl.
ВСса 1,16–1,50 м	Сильно влажный, сизо-коричневый, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый. Нижняя граница с затеками. Вскипает от 10% HCl.
С 1,5–1,9 м и глубже	Сильно влажный, сизый, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый. Отмечаются затеки вышерасположенного материала. Вскипает от 10% HCl. Кристаллы гипса не наблюдаются.

Разрез 143. 25.06.2018. Русско-Полянский район Омской области. Плакорный участок Ишим-Иртышского степного междуречья. Лесополоса, четырехрядная посадка тополя 1973 года. Залегание грунтовых вод на глубине 2,9 м.

Почва: чернозем среднетощий, тяжелосуглинистый

Ад 0–0,04 м	Сухой, рыхлый, серо-коричневый, тяжелосуглинистый. Много корней. Не вскипает от 10% HCl.
А 0,04–0,49 м	Сухой, темно-серый, много корней, тяжелосуглинистый, комковатый. Не вскипает от 10% HCl.
АВ 0,49–1,00 м	Слегка влажный, желтовато-коричневый с темными затеками гумусового вещества, тяжелосуглинистый, комковатый. Не вскипает от 10% HCl.
Вса 1,00–1,44 м	Влажный, желто-коричневый, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый. Вскипает от 10% HCl.
Сса 1,44–2,00 м и ниже	Сильно влажный, серо-желтый, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый. Вскипает от 10% HCl, наблюдаются выцветы карбонатов размером до 2–3 см.

Сравнение первых двух представленных описаний (№№ 142 и 143) показало значительное сходство вертикальной мощности, глубин залегания и внешнего вида основных генетических горизонтов почв. Основные различия выделены в распределении горизонтов солевого профиля. Так, в нижней части современных профилей не наблюдали кристаллы гипса, хорошо заметные и четко зафиксированные в описании 1986 г. Кроме того, в двух новых разрезах глубине 0,9–1,25 м отмечены легко различимые стяжения карбонатов. На основании предварительной оценки этих различий можно сформулировать осторожное предположение о том, что в течение преобладавших в последние десятилетия влажных лет произошло смещение вниз верхней границы иллювиально-карбонатного и гипсово-аккумулятивного горизонта. Это предположение, естественно, нуждается в дальнейшей тщательной проверке. Зафиксировать в нижней части современных разрезов более ярко выраженные признаки оглеения, обусловленные высоким положением грунтовых вод в период «полуцикла» лет с возрастающим атмосферным увлажнением вегетационных сезонов (2000–2010-х гг.) не удалось.

Сравнительный анализ современных почвенных разрезов, заложенных на плакорных участках в полевом лесополосе (№№ 142 и 143) и под пашней (№№ 144 и 145) показал следующие результаты. В опорных разрезах почв в пределах лесополосы выделен горизонт дернины мощностью до 5 см и отсутствует пахотный горизонт. Вскипание от соляной кислоты наблюдалось с глубины 0,9–1,0 м до низа разреза (1,8–2,0 м). На распаханых черноземах диапазон верхней границы вскипания варьировал от 0 до 30 см.

Образование маломощного дернового горизонта в черноземных почвах под лесополосой связано с длительным залежным периодом (45 лет). Большую вертикальную мощность гумусового горизонта в почве лесополосы можно объяснить отсутствием распашки, благоприятными условиями увлажнения, в основном тальными водами, и более богатым естественным травостоем, ежегодного извлечения фитомассы которого из биологического круговорота не происходило. Большая глубина вскипания от соляной кислоты в пределах почвенных разрезов лесопосадки предопределена, по всей вероятности, ежегодным более глубоким и даже сквозным промачиванием почв лесополосы тальными водами. В целом, функционирование полевой лесопосадки на плакорном участке Ишим-Иртышского степного междуречья в течение 45 лет обусловило появление заметных морфологических отличий черноземных почв от соседних пахотных. Вместе с тем, смещение глубины залегания карбонатного горизонта на 0,4 м вниз и отсутствие уверенно различимых визуально кристаллов гипса в нижней части современных профилей, заложенных и на полях, и в лесополосе, дают основание предположить ведущее влияние возросшего в последние десятилетия увлажнения территории на изменения солевого профиля изучаемых почв.

Результаты по выявлению современных изменений морфологии почв и сделанные на их основе заключения нужно считать предварительными, нуждающимися в проверке в ближайшем будущем. Помимо этого, основной задачей дальнейших исследований в Ишимской степи является установление динамики гидрологического состояния и свойств почв в течение начавшегося «полуцикла» лет с понижающимся атмосферным увлажнением (2016–2032 гг., согласно прогнозам А.П. Сляднева).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам многолетних полевых работ (1985–2018 гг.) на Ишим-Иртышском степном междуречье была дана мелиоративная оценка природным условиям территории, установлены

характерные черты физических и водно-физических свойств автоморфных и гидроморфных почв, выявлены особенности засоления почв, подпочвенных пород и грунтовых вод, на основании чего предложена концепция галогенеза степных почв. Кроме того, с учетом особенностей физических свойств и засоления почвенно-грунтовых толщ представлена мелиоративная оценка гидрологическому состоянию автоморфных и гидроморфных почв в годы «полуцикла» лет с понижающимся атмосферным увлажнением периодов вегетации (1985–1986 гг.).

Так же одним из важнейших результатов было определение характерных черт режима влажности, водного и температурного режима почв плакорных участков междуречья, микропонижений на поверхности междуречья и нижних частей склонов крупных котловин в годы «полуцикла» лет с понижающимся атмосферным увлажнением сезонов вегетации (1986–1989 гг.) и в годы «полуцикла» лет с возрастающим атмосферным увлажнением сезонов вегетации (2002–2016 гг.)

Исследователями дана хозяйственная оценка выявленным особенностям гидрологического состояния почв, установлена антропогенная природа регионального подъема уровня грунтовых вод до критических глубин в течение второй половины XX столетия, а также определены причины и механизмы этого подъема, связанные с ним изменения водного режима почв и степени их гидроморфности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азьмука Т.И., Кравцов Ю.В. Агроклиматические особенности территории // Панфилов В.П., Слесарев И.В., Сеньков А.А. и др. Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. С. 30–39.
2. Горшенин К.П. Почвы южной части Сибири. М.: Изд. АН СССР, 1955. 590 с.
3. Градобоев Н.Д., Прудникова В.М., Сметанин И.С. Почвы Омской области. Омск: Омское кн. изд., 1960. 374 с.
4. Кравцов Ю.В. Миграция влаги и изменение профиля влажности почвогрунтов Ишимской степи в зимний период // Сибирский биологический журнал. 1992. Вып. 6. С. 22–26.
5. Кравцов Ю.В. Температурный режим черноземов южных и лугово-черноземных почв Ишимской степи // Сибирский экологический журнал. 2006. Т.13. № 2. С. 227–234.
6. Кравцов Ю.В. Черноземы Ишимской степи. Новосибирск: изд-во НГПУ, 2004. 213 с.
7. Кравцов Ю.В. Водный режим южных черноземов Ишимской степи // Сибирский экологический журнал. 2006. Т. 13. № 2. С. 235–242.
8. Кравцов Ю.В. Подъем грунтовых вод в Ишимской степи // Сибирский экологический журнал. 2009а. Т.16. № 2. С. 217–222.
9. Кравцов Ю.В. Изменения в режиме влажности плакорных почв Ишимской степи при подъеме грунтовых вод // Вестник Том. гос. ун-та. 2009б. № 325. С. 176–181.
10. Кравцов Ю.В. Водный режим почв Ишимской степи. Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2014. 252 с.
11. Кравцов Ю.В., Жигарев В.О., Перебейнос Г.В. Гидрологическое состояние почв Ишимской степи в различные по снежности промежутки лет за 1986–2017 гг. // Географическая наука, туризм и образование: современные проблемы и перспективы развития: Мат-лы VI Всеросс. науч.-практ. конференции (1–24 апреля 2017 г.). Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2017. С. 10–14.
12. Панфилов В.П., Слесарев И.В., Сеньков А.А. и др. Особенности почвенно-мелиоративных условий степной зоны Омской области // Мелиорация и водохозяйственное строительство в Омской области: Тезисы докл. к конф. Омск, 1987. С. 16–17.
13. Панфилов В.П., Слесарев И.В., Сеньков А.А. и др. Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988а. 256 с.
14. Панфилов В.П., Слесарев И.В., Кудряшова С.Я., Сеньков А.А. Современное гидрологическое состояние почв и подстилающих пород // Панфилов В.П., Слесарев И.В., Сеньков А.А. и др. Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988б. С. 47–57.
15. Сеньков А.А. Особенности засоления почв, подстилающих пород и грунтовых вод // Панфилов В.П., Слесарев И.В., Сеньков А.А. и др. Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. С. 57–71.
16. Сеньков А.А. Галогенез степных почв (на примере Ишимской равнины). Новосибирск: изд-во СО РАН, 2004. 152 с.
17. Слесарев И.В., Кудряшова С.Я. Гранулометрический состав и водно-физические свойства почв и подстилающих пород // Панфилов В.П., Слесарев И.В., Сеньков А.А. и др. Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. С. 39–47.
18. Сляднев А.П. Агроклиматические ресурсы Барабы // Вопросы мелиорации Барабинской низменности. Новосибирск: Наука, 1970. С. 20–41.

19. Сляднев А.П. Климатические ресурсы сельского хозяйства Западной Сибири // *Географические проблемы Сибири*. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1972. С. 107–143.
20. Топографическая карта масштаба 1 : 1 000 000: лист I-33-48. М: ГУГК, 1965а.
21. Топографическая карта масштаба 1 : 1 000 000: лист I-33-44. М: ГУГК, 1965б.

Поступила в редакцию 03.11.2018

Принята 08.12.2018

Опубликована 26.12.2018

Сведения об авторе:

Кравцов Юрий Васильевич – доктор биологических наук, профессор кафедры географии, регионоведения и туризма, доцент, ФГБОУ Новосибирский государственный педагогический университет (Новосибирск, Россия); kravtsov60@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/)

THE MAIN RESULTS OF MULTI-YEAR SOIL-HYDROLOGICAL STUDIES IN ISHIM STEPPE (WEST SIBERIA, RUSSIA)

© 2018 Yu.V. Kravtsov

Address: Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia.

E-mail: kravtsov60@mail.ru

The main features of the Ishim plain steppe zone nature-meliorative conditions reflected, the assessment of the physical, water-physical properties and salinity of the Ishim steppe soils in the mid-1980s from the point of perspective irrigation given. The specificity of the Ishim-Irtysh steppe interfluvial soil and soil strata hydrological state during the "half cycles" years with increasing and decreasing atmospheric moistening of the growing season shown. The reasons and mechanisms of the Ishim steppe upland soils water regime dynamism during the second half of the 20th century and at the beginning of the 21st century presented. The first results of a comparison of the Ishim upland soils morphology, recorded in 1986 and 2018, given. Taking into account the results of many years study, the main task of further research in the Ishim steppe is to establish the dynamics of the hydrological state and properties of the soil during the beginning of the next "half cycle" of years with decreasing atmospheric moisture.

Keywords: Calcic Chernozems; Haplic Chernozems Stagnic; water regime; groundwater level; long-term dynamics

How to cite: Kravtsov Yu.V. Ishim steppe soils multi-year study results (West Siberia, Russia) // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(4): 284-294. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Azmuka T.I., Kravtsov Yu.V. Agroclimatic territory features. In book: Panfilov V.P., Slesarev I.V., Senkov A.A. and etc. *Chernozems: irrigation properties and features*. Novosibirsk: Nauka Pbs., 1988, p. 30–39. (in Russian)
2. Gorshenin K.P. Soils of the southern part of Siberia. M.: Publishing house of Academy of Sciences of the USSR, 1955, 590 p. (in Russian)
3. Gradoboev N.D., Prudnikova V.M., Smetanin I.S. Soils of the Omsk region. Omsk: Omsk Publishing house, 1960, 374 p. (in Russian)
4. Kravtsov Yu.V. Migration of moisture and change in the moisture profile of the soil and subsoil of the Ishim steppe in the winter period, *Siberian Biological Journal*, 1992, V. 6, p. 22–26. (in Russian)
5. Kravtsov Yu.V. *Chernozems of the Ishim steppe*. Novosibirsk: Publishing house of the NSPU, 2004, 213 p. (in Russian)
6. Kravtsov Yu.V. Water regime of southern Chernozems of the Ishim steppe, *Siberian Ecological Journal*, 2006a, No2, p. 235–242. (in Russian)
7. Kravtsov Yu.V. Temperature regime of southern Chernozem and Meadow-Chernozemic soils of the Ishim steppe, *Siberian Journal of Ecology*, 2006b, V.13, No. 2, p. 227–234. (in Russian)
8. Kravtsov Yu.V. Groundwater rise in the Ishim steppe, *Siberian Ecological Journal*, 2009a, V.2, No 6, p. 655–659. doi: [10.1134/S1995425509060265](https://doi.org/10.1134/S1995425509060265)
9. Kravtsov Yu.V. Changes in the humidity mode of Ishim steppe higher soils at the rise of subsoil waters, *Tomsk State University Journal*, 2009b, No 325, p. 176–181. (in Russian)

10. Kravtsov Yu.V. *Ishim steppe soils water regime*. Novosibirsk: Publishing house of the NSPU, 2014, 252 p. (in Russian).
11. Kravtsov Yu.V., Zhigarev V.O., Perebeinos G.V. The hydrological state of the soils of the Ishim steppe at various intervals of snowiness between 1986–2017. In book: *Geography, tourism and education: current problems and development prospects. Proc. of VIth Russ. Sci.-Prac. Conf. (April 1–24, 2017)*. Novosibirsk: NSPU publishing house, 2017, p. 10–14. (in Russian)
12. Panfilov V.P., Slesarev I.V., Senkov A.A. et al. Peculiarities of soil-meliorative conditions of the steppe zone of the Omsk region. In book: *Melioration and water management in the Omsk region: Abstracts of the reports to conf. Omsk, 1987*, p. 16–17. (in Russian)
13. Panfilov V.P., Slesarev I.V., Senkov A.A. and etc. *Chernozem: properties and characteristics of irrigation*. Novosibirsk: Nauka Pbs., 1988a, 254 p. (in Russian)
14. Panfilov V.P., Slesarev I.V., Kudryashova S.Ya., Senkov A.A. Modern hydrological state of soils and underlying rocks. In book: *Panfilov V.P., Slesarev I.V., Senkov A.A. and etc. Chernozems: irrigation properties and features*. Novosibirsk: Nauka Pbs., 1988b, p. 47–57. (in Russian)
15. Senkov A.A. Features of soil salinization, bedrock and groundwater. In book: *Panfilov V.P., Slesarev I.V., Senkov A.A. and etc. Chernozems: irrigation properties and features*. Novosibirsk: Nauka Pbs., 1988, p. 57–71. (in Russian)
16. Senkov A.A. *Halogenesis of steppe soils (on the example of the Ishim plain)*. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2004, 152 p. (in Russian)
17. Slesarev I.V., Kudryashova S.Ya. Granulometric composition and water-physical properties of soils and underlying rocks. In book: *Panfilov V.P., Slesarev I.V., Senkov A.A. and etc. Chernozems: properties and irrigation features*. Novosibirsk: Nauka Pbs., 1988, p. 39–47. (in Russian)
18. Slyadnev A.P. Agroclimatic resources of Baraba. In book: *Issues of Land Reclamation of the Barabinsk Lowland*. Novosibirsk: Nauka Pbs., 1970, p. 20–41. (in Russian)
19. Slyadnev A.P. Climatic resources of agriculture in Western Siberia. In book: *Geographical problems of Siberia*. Novosibirsk: Nauka Pbs., 1972, p. 107–143. (in Russian)
20. Topographic map of scale 1: 1 000 000: page I-33-48. Moscow: General Directorate of Geodesy and Cartography, 1965a. (in Russian)
21. Topographic map of scale 1: 1 000 000: page I-33-44. Moscow: General Directorate of Geodesy and Cartography, 1965b. (in Russian)

Received 03 November 2018

Accepted 08 December 2018

Published 26 December 2018

About the author:

Kravtsov Yury V. – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Geography, Regional Studies and Tourism, Novosibirsk State Pedagogical University (Novosibirsk, Russia); kravtsov60@mail.ru

The author read and approved the final manuscript



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